

# **O PAPEL DA MADEIRA NA SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO**

**LUÍS EDUARDO MENEZES MARINHO MARQUES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**

---

Orientador: Professor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JULHO DE 2008

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

## **AGRADECIMENTOS**

As palavras são sempre pequenas para os agradecimentos!

Aos meus queridos e fantásticos pais, um profundo agradecimento pela motivação e apoio dados, não só neste trabalho, mas em todo o meu crescimento, os quais tornaram possível, para além de muitas outras, a minha formação académica.

Ao meu orientador, o Professor José Amorim Faria, pelos conhecimentos partilhados e pela paciência e total disponibilidade com que sempre acompanhou este trabalho. A ele, o meu enorme reconhecimento e gratidão por toda a dedicação e compreensão.

À minha irmã pela grandiosa sabedoria e amizade.

Aos meus amigos e colegas que de várias formas me ajudaram e fica a esperança que assim tudo continue.



## **RESUMO**

De um modo geral, Portugal e grande parte do Mundo ainda não se encontram totalmente sensibilizados para as questões ambientais que gradualmente vão deteriorando o nosso planeta. Nessa óptica, é necessário criar mecanismos e soluções para contrariar esse processo, daí esta dissertação ser feita para tentar demonstrar a necessidade e as vantagens do uso da madeira como material para uma construção mais sustentável.

Esta dissertação insere-se num projecto de investigação relacionado com o papel que a madeira apresenta para uma boa sustentabilidade na construção, documento este, necessário para obtenção do Mestrado Integrado em Engenharia Civil.

A investigação realizada teve como principal objectivo o cálculo de indicadores de sustentabilidade (capítulo 5), relativamente a soluções construtivas de paredes e pavimentos, de maneira a poder tirar conclusões acerca da sustentabilidade das soluções em madeira comparativamente com as soluções convencionais.

Para chegar à índole da questão, começou-se por um capítulo mais genérico, relacionado é claro com o tema da dissertação, até a um capítulo mais focado e integrado.

O capítulo 2 está relacionado com o desenvolvimento sustentável e aqui se dá conhecimento da realidade ambiental em que nos encontramos e se demonstram soluções para criar cidades mais sustentáveis.

No seguimento, temos o capítulo 3 sobre construção em que é evidenciado os problemas que a construção acarreta durante todo o seu ciclo de vida e se dão soluções para caminhar para uma construção mais sustentável.

No capítulo 4 são representadas as utilidades possíveis a dar à madeira na construção, tal como a sua importância para o desenvolvimento e construção sustentável.

No capítulo final apresenta-se as principais conclusões deste trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** desenvolvimento sustentável, construção sustentável, madeira, ambiente



## **ABSTRACT**

Overall, Portugal and much of the world are not yet fully aware of environmental issues that will gradually deteriorating our planet. Accordingly, it is necessary to create mechanisms and solutions to counter this process, then this dissertation be made to try to demonstrate the necessity and advantages of the use of wood as building material for a more sustainable.

This thesis is part of a research project related to the role the wood presents for good sustainability in construction, this document, necessary for obtaining Integrated Master in Civil Engineering.

Research had as its main objective the calculation of sustainability indicators (Chapter 5), for constructive solutions, walls and floors, so that it can draw conclusions about the sustainability of solutions in wood compared with the conventional solutions.

To reach the kind of issue, started by a more general chapter, is clearly linked with the theme of the dissertation, a chapter to the more focused and integrated.

Chapter 2 is related to the sustainable development here and whether knowledge of the environmental reality in which we find ourselves and if demonstrate solutions to create more sustainable cities.

Following, we have the chapter 3 on construction that is evidenced by the problems that entails the building throughout its life cycle and provided solutions to move towards a more sustainable construction.

In Chapter 4 represented the utilities are allowed to give the wood in construction, as its importance for the development and sustainable construction.

In the final chapter appears to be the main conclusions of this work.

**KEYWORDS:** sustainable development, sustainable construction, timber, environment





## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJECTO, ÂMBITO, JUSTIFICAÇÃO E BASES DO TRABALHO .....	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>5</b>
2.1. PROCURAR O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	5
2.2. PRINCIPAIS CONCEITOS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	8
2.3. SOLUÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE SEGUNDO A PRESPECTIVA BIOMIMÉTICA .....	10
2.4. CIDADES SUSTENTÁVEIS .....	11
2.5. O QUE É PRECISO PARA ALCANÇAR O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	14
<b>3. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>17</b>
3.1. DEFINIÇÃO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....	17
3.2. PRINCIPAIS QUESTÕES AMBIENTAIS RELACIONADAS COM AS ACTIVIDADES CONSTRUTIVAS ..	19
3.3. NOVO PARADIGMA DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....	19
3.4. CICLO DE VIDA DAS CONSTRUÇÕES E SEUS IMPACTES AMBIENTAIS .....	20
3.5. MATERIAIS E METODOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....	24
3.6. EXEMPLOS DE ÁREAS DE INTERVENÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS .....	30
3.6.1. FONTES RENOVÁVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE .....	30
3.6.1.1. Painéis solares fotovoltaicos .....	31
3.6.1.2. Micro turbinas eólicas .....	31
3.6.1.3. Micro-hidrogeradores .....	32
3.6.2. PRÁTICAS ACONSELHADAS PARA A REDUÇÃO DE ENERGIA NA ELUMINAÇÃO E ELECTRODOMÉSTICOS ...	32
3.6.3. APARELHOS SANITÁRIOS E DISPOSITIVOS DE UTILIZAÇÃO MAIS EFICIENTES .....	34
3.6.4. RECOLHA DA ÁGUA DA CHUVA E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA .....	36
3.6.5. TOXICIDADE DO MATERIAL .....	36
3.6.6. MEDIDAS QUE POTENCIAM A REDUÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	36

<b>3.7. O CAMINHO PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>37</b>
---	-----------

## **4. MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO ..... 39**

<b>4.1. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>39</b>
---------------------------------	-----------

<b>4.2. FLORESTA E MADEIRA .....</b>	<b>40</b>
--------------------------------------	-----------

4.2.1. A IMPORTÂNCIA DAS FLORESTAS .....	40
--	----

4.2.2. A ANATOMIA DA ÁRVORE .....	41
-----------------------------------	----

4.2.3. O CORTE DA ÁRVORE .....	42
--------------------------------	----

4.2.4. MADEIRAS USADAS NA CONSTRUÇÃO .....	42
--	----

4.2.4.1. Madeiras maciças.....	42
--------------------------------	----

4.2.4.2. Madeiras industriais.....	43
------------------------------------	----

<b>4.3. MADEIRA NA CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>44</b>
---	-----------

4.3.1. ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS .....	45
--------------------------------------	----

4.3.2. CASAS DE TRONCOS DE MADEIRA.....	45
---	----

4.3.3. ACABAMENTOS DE EDIFÍCIOS .....	46
---------------------------------------	----

4.3.4. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS .....	48
--	----

4.3.5. PONTES PEDONAIS .....	50
------------------------------	----

<b>4.4. MADEIRA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>50</b>
--	-----------

<b>4.5. O PORQUÊ DA IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>52</b>
--	-----------

## **5. ANÁLISE COMPARATIVA DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ..... 55**

<b>5.1. ÂMBITO .....</b>	<b>55</b>
--------------------------	-----------

<b>5.2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE .....</b>	<b>55</b>
---	-----------

5.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	55
-----------------------------------	----

5.2.2. INDICADORES PARA MATERIAIS SIMPLES .....	55
---	----

5.2.2.1. Indicadores ambientais.....	55
--------------------------------------	----

5.2.2.2. Indicadores funcionais.....	58
--------------------------------------	----

5.2.2.3. Indicadores económicos.....	60
--------------------------------------	----

5.2.3. INDICADORES PARA SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	61
--	----

5.2.3.1. Indicadores ambientais.....	61
--------------------------------------	----

5.2.3.2. Indicadores funcionais.....	61
--------------------------------------	----

5.2.3.3. Indicadores económicos.....	62
<b>5.3. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE.....</b>	<b>62</b>
<b>5.4. AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....</b>	<b>65</b>
5.4.1. PAREDES EXTERIORES.....	65
5.4.1.1. Descrição das paredes exteriores estudadas.....	65
5.4.1.2. Cálculos para as soluções construtivas em madeira.....	66
5.4.1.3. Resumo dos indicadores obtidos.....	68
5.4.1.4. Peso dos indicadores e parâmetros na avaliação da sustentabilidade.....	68
5.4.1.5. Nota de sustentabilidade das paredes exteriores.....	69
5.4.2. PAVIMENTOS.....	69
5.4.2.1. Descrição dos pavimentos estudados.....	69
5.4.2.2. Resumo dos indicadores obtidos.....	70
5.4.2.3. Peso dos indicadores e parâmetros na avaliação da sustentabilidade.....	71
5.4.2.4. Nota de sustentabilidade dos pavimentos.....	72
5.4.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	72
 <b>6. CONCLUSÃO.....</b>	 <b>73</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Lista cronológica de acontecimentos relacionados com o desenvolvimento sustentável.....	7
Figura 2 – Demonstração da contradição existente entre vários sectores .....	8
Figura 3 – triângulo de sustentabilidade .....	9
Figura 4 – Futura cidade Masdar .....	12
Figura 5 – Eco-cidades de Dongtan e de Bedzed .....	13
Figura 6 – exemplo esquemático de uma cidade insustentável .....	13
Figura 7 – exemplo esquemático de uma cidade sustentável .....	14
Figura 8 – Aspectos competitivos na construção tradicional .....	19
Figura 9 – Construção eco-eficiente .....	20
Figura 10 – Construção sustentável .....	20
Figura 11 - Ciclo de vida das construções .....	21
Figura 12 - Impactes ambientais causadas pelas actividades da construção .....	22
Figura 13 – Exemplos de módulos solares fotovoltaicos .....	31
Figura 14 - Aerogerador doméstico de turbina horizontal com pás .....	32
Figura 15 – Sistema micro-hidrogerador instalado numa nascente situada numa encosta .....	32
Figura 16 – Comparação da eficácia luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas .....	33
Figura 17 – Tubo solar .....	33
Figura 18 – Etiqueta energética de electrodomésticos .....	34
Figura 19 – Autoclismo de descarga diferenciada e bacia de retrete de compostagem .....	35
Figura 20 – Chuveiro de baixo caudal .....	35
Figura 21 – torneira monocomando com filtro arejador .....	35
Figura 22 – recolha e armazenamento de água das chuvas .....	36
Figura 23 – Floresta e processo de fotossíntese .....	40
Figura 24 – Corte transversal de um tronco .....	41
Figura 25 – Toros e Madeira serrada .....	43
Figura 26 – Madeira lamelada colada e Viga pré-fabricada à base de LVL e OSB .....	43
Figura 27- Parallam e LVL .....	44
Figura 28 – Vários tipos de painéis .....	44
Figura 29 – Sheffield Millenium Winter Garden – Sheffield, UK e Pohjala Stadium – Vantaa, Finlândia .....	45
Figura 30 – exemplo de uma fachada exterior e interior de uma casa em madeira .....	46
Figura 31 – pormenor construtivo de um pavimento de soalho .....	47

Figura 32 – exemplo de pavimento em parquet e flutuante .....	47
Figura 33 – corte vertical e horizontal de uma porta .....	48
Figura 34 – exemplo de parede de taipa de rodízio .....	49
Figura 35 – exemplo de parede de taipa de fasquio .....	49
Figura 36 – modelo de construção em paredes de gaiola .....	49
Figura 37 – exemplo de parede de tabique .....	50
Figura 38 – Ponte Leonardo - Aas, Noruega e Ponte sobre o Reuss – Suíça .....	50
Figura 39 – ciclo de CO2 .....	51
Figura 40 – Parede de referência .....	65
Figura 41 – Parede em Madeira 1 .....	66
Figura 42 – Parede em Madeira 2 .....	66
Figura 43 – Pavimento de referência .....	70
Figura 44 – Pavimento em madeira 1 .....	70
Figura 45 – Pavimento em Madeira 2 .....	70
Figura 46 – Pavimento em Madeira 3 .....	70

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – Principais questões ambientais relacionadas com a actividade construtiva .....	19
Tabela 2 – Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de concepção .....	28
Tabela 3 - Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de construção .....	29
Tabela 4 - Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de operação.....	30
Tabela 5 - Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de demolição .....	30
Tabela 6 – materiais constituintes de diferentes taipas .....	48
Tabela 7 – potencial de aquecimento global de cada material/produto .....	56
Tabela 8 – energia primária incorporada em cada material/produto .....	57
Tabela 9 – Reservas existentes de matéria-prima.....	57
Tabela 10 – valores da condutibilidade térmica em cada material/produto.....	58
Tabela 11 – frequências críticas para 1 cm de espessura para diferentes materiais.....	59
Tabela 12 – Durabilidade dos materiais/produtos.....	60
Tabela 13 – massa volúmica de diferentes tipos de produtos .....	60
Tabela 14 – Possíveis indicadores a utilizar na avaliação da sustentabilidade .....	63
Tabela 15 – Nota a atribuir a cada indicador (Ni) em função dos valores dos índices (Ix) .....	64
Tabela 16 – Classificação do desempenho da solução em estudo a partir de NS .....	65
Tabela 17 – Resultados obtidos na quantificação dos indicadores a nível de paredes exteriores .....	68
Tabela 18 – Pesos considerados na avaliação.....	69
Tabela 19 – Resultados obtidos na quantificação da Nota de Sustentabilidade .....	69
Tabela 20 – Resultados obtidos na quantificação dos indicadores a nível de pavimentos.....	71





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJECTO, ÂMBITO, JUSTIFICAÇÃO E BASES DO TRABALHO

O nosso planeta teve, nos seus primórdios, uma atmosfera repleta de dióxido de carbono, como Vénus, o que impossibilitava o aparecimento de vida animal na Terra. Acontece que o mar e as plantas são absorventes naturais do dióxido de carbono, pelo que ambos começaram a actuar e, ao longo de milhões de anos, fizeram diminuir o dióxido de carbono na atmosfera, permitindo a existência dos animais. Contudo a expansão da presença humana, com a consequente destruição das florestas e a queima de lenha, a que se acrescentou depois a queima do carvão e de petróleo para obtenção de energia, fez aumentar os valores de dióxido de carbono para valores muito elevados.

Valores altos de dióxido de carbono levam ao aquecimento do planeta de que, por sua vez, resultam alterações climáticas significativas, como as secas, as inundações, a desertificação, o deslizamento de terras e a subida do nível do mar. Essa subida é consequência do derretimento do gelo do Ártico e Antárctida e resulta da libertação líquida de triliões de metros cúbicos que se acumulam à água já existente nos oceanos.

O pior de tudo isto, é o facto de o Mundo ainda não se ter apercebido que não irá conseguir inverter esta tendência tão cedo quanto se desejaria, porque os maiores países mundiais, como são o caso da China e da Índia, estão a industrializar-se e precisam de combustíveis fósseis para o seu desenvolvimento. Por outro lado, os grandes produtores mundiais de dióxido de carbono, os Estados Unidos e a Europa, habituaram-se aos confortos proporcionados pela actual economia muito dependente de elevados consumos de energia e não a dispensam, uma vez que têm de assegurar a continuidade do seu crescimento económico.

A poluição originada em emissões, processos industriais, fertilizantes, pesticidas e resíduos, resulta na poluição do ar, na contaminação da água, nas alterações climáticas e riscos químicos, expondo as pessoas a níveis mais elevados e a um leque mais vasto de produtos químicos. Esta situação é, por exemplo, bem ilustrada no relatório recentemente realizado pela UNFPA (United Nations Population Fund) que refere, segundo uma edição recente de um jornal nacional, que 25 por cento das mortes anuais se devem a problemas ambientais.

Daí, ser necessário haver realmente consciência por parte de todos, principalmente, pelos grandes países e entidades poluidoras, de que é necessário arranjar alternativas eficazes para tentar solucionar este grande problema.

O sector da construção é responsável por uma grande parcela da poluição no nosso planeta, logo é fundamental haver mais cuidado não só na fase de construção do edificado, mas também em todo o seu ciclo de vida.

Um maior uso da madeira na construção, associado a uma gestão mais sustentável da floresta, pode contribuir significativamente para a inversão do actual processo de degradação acelerada dos recursos naturais da Terra.

É, assim, no tema de sustentabilidade da construção que se insere o objecto do presente trabalho. Mais especificamente, este trabalho tem como objectivo principal avaliar o papel da madeira na sustentabilidade da construção.

O trabalho tem como base diversos documentos recolhidos das pesquisas bibliográficas realizadas, que se detalha na bibliografia e de que se destacam:

- diversos documentos retirados de páginas internet dedicadas ao tema de desenvolvimento sustentável e de construção sustentável;
- o livro editado pelo Instituto do Ambiente “Ambiente e Construção sustentável” de Duarte Pinheiro;
- o livro editado pela Edições Copy “Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção” de Luís Bragança e Ricardo Mateus;
- o livro editado Architectural Press “The ecology of building materials” de Bjorn Berge.

Pretende-se então com este trabalho perceber qual o verdadeiro contributo da madeira para a construção sustentável. Esse contributo será mesmo importante? O sentimento geralmente aceite de que a madeira tem um papel fundamental no processo será mesmo correcto? De que forma se ligam floresta e madeira?

Face à necessidade urgente de começar a inverter o actual processo de degradação acelerado da Terra, parece justificar-se amplamente o presente trabalho. Entende-se que todos os contributos no sentido de perceber como tornar a construção mais sustentável são de igual modo importantes. Este trabalho pretende ser, assim, apenas mais uma modesta contribuição nesse sentido.

## **1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação encontra-se organizada segundo 6 capítulos:

Capítulo 1: Faz-se uma breve apresentação do trabalho e sintetiza-se o seu conteúdo

Capítulo 2: Desenvolve-se o tema do Desenvolvimento Sustentável, o que o define e o que se tem procurado fazer para a sua concretização. Explica-se o conceito de cidade sustentável, definindo medidas para o seu alcance e exemplos a seguir;

Capítulo 3: Define-se Construção Sustentável. Principais questões ambientais relacionadas com as actividades construtivas, novo paradigma da construção, ciclo de vida das construções, materiais e metodologias para a construção sustentável, exemplos de áreas de intervenção;

Capítulo 4: Dá-se a conhecer o material de construção base para o presente estudo. Proveniência, características principais, composição, aplicabilidade e vantagens do seu uso. Apresentação da importância da madeira na construção;

Capítulo 5: Define-se indicadores de sustentabilidade para materiais simples e soluções construtivas, nomeadamente paredes e pavimentos. Apresenta-se uma metodologia de avaliação desses indicadores e consequente cálculo e resultados;

Capítulo 6: Este capítulo contempla conclusões e recomendações para a prática de sustentabilidade na construção



## 2

## DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### 2.1 PROCURAR O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O Homem, com a Revolução Industrial do século XVIII, assumiu que a evolução tecnológica tornaria os recursos naturais infinitos, e esse optimismo foi reforçado com as inúmeras descobertas e conquistas alcançadas nos diferentes campos da actividade humana. Tal foi o caso da produção agrícola, que passou a ser controlada em função do constante crescimento da população, das descobertas ao nível da medicina, que permitiram prolongar a longevidade do homem e do surgimento de novas tecnologias, que tornaram a vida das pessoas mais confortável e com maior qualidade. Esta ilusão de sensação de poder sobre a terra foi ainda mais alimentada após a II Guerra Mundial, com o rápido crescimento económico e pelas muitas inovações tecnológicas. Infelizmente não havia por parte dos decisores do mundo uma percepção adequada dos reais problemas que se estavam a criar, ignorando-se sempre os avisos da comunidade científica, que alertava sobre os problemas ambientais que essa evolução originaria. [1]

O agravamento dos problemas ambientais fez-se sentir, por exemplo, na diminuição abrupta da qualidade do ar nas principais cidades desenvolvidas e na redução de recursos naturais. Daí resultaram vozes crescentes de protesto da comunidade científica no sentido de haver maior consciência a nível da exploração dos recursos naturais, nos factores de produção de poluição e industrialização descontrolada, porque caso contrário, a longo prazo, se assistiria a um ponto irreversível e susceptível de pôr em risco a própria sobrevivência da humanidade. A contribuir para esta visão [fig. 1], o Clube de Roma – que é um grupo de pessoas ilustres que se reúnem para debater um vasto conjunto de assuntos relacionados com a política e economia internacional – publicou em 1972 um livro denominado “Os Limites do Crescimento” com o objectivo de alertar para o modelo de desenvolvimento económico da altura e que alertava para a necessidade de serem adoptadas medidas ecológicas e sociais de desenvolvimento sustentável. Neste mesmo ano, devido a pressões de vários movimentos ecologistas, realiza-se pela primeira vez, à escala mundial, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, onde são abordados os problemas da degradação do planeta.

Seguiram-se, a partir daí, vários acontecimentos com vista à implementação e consciencialização sobre o Desenvolvimento Sustentável. Em 1987 o Relatório Brundtland aconselhava uma série de medidas para os governos promoverem o desenvolvimento sustentável. Entre elas [1]:

- Limitação do crescimento populacional;
- Garantia de recursos básicos (água, alimentos, energia) a longo prazo;
- Preservação da biodiversidade e dos ecossistemas;
- Diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis;
- Aumento da produção industrial nos países não-industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas;
- Controle da urbanização desordenada e integração entre campo e cidades menores;
- Atendimento das necessidades básicas (saúde, escola, habitação).

.....  
• *Definição de Desenvolvimento Sustentável segundo Brundtland, 1987: “Por Desenvolvimento Sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.”*  
.....

Mais tarde deu-se a Cimeira da Terra no Rio de Janeiro em 1992, onde foram dados passos importantes para a consciencialização ambiental dos Estados e em que o seu objectivo principal era encontrar meios de conciliar o desenvolvimento socio-económico com a conservação e protecção dos ecossistemas e da própria Terra. Para isso foi definido o conceito de Desenvolvimento Sustentável, um modelo de crescimento económico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico, e dado a conhecer que os problemas ambientais eram maioritariamente da responsabilidade dos países desenvolvidos. Reconheceu-se também a necessidade dos países em desenvolvimento receberem apoio financeiro e tecnológico para contribuir, igualmente, para o Desenvolvimento Sustentável.

Em 1997 é implementado um dos programas mais ambiciosos de sempre – a Agenda 21 – aprovado na Cimeira da Terra em 1992, uma vez que tem a intenção de pôr em pratica os princípios do desenvolvimento sustentável concebidos pelo Relatório Brundtland. Este é um plano que estabeleceu a importância de cada País se comprometer a reflectir, global e localmente, sobre a forma pela qual governos, empresas, organizações não-governamentais e todos os sectores da sociedade poderiam cooperar no estudo de soluções para os problemas sócio-ambientais. Os temas da Agenda 21 são tratados em quatro secções:

- Dimensões sociais e económicas;
- Conservação e gestão de recursos para o desenvolvimento;
- Fortalecimento do papel dos grupos sociais;
- Meios de execução.

Mais recentemente realizou-se em Joanesburgo a Cimeira Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, na qual foram definidas as bases de revisão actualizada, relativamente às definições e recomendações emanadas na Conferência do Rio.

CITAÇÃO

*“Cada autoridade local deverá iniciar um diálogo com os seus cidadãos, organizações locais e empresas privadas e aprovar uma Agenda 21 Local. Mediante a celebração de consultas e a promoção de um consenso, as autoridades locais vão receber achegas da cidadania e as organizações cívicas, empresariais e industriais locais e obterão a informação precisa para formular as melhores estratégias”.*

Cap. 28 do Agenda 21, Cimeira da Terra,

- 1972** - Decorre a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo;
- É criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), a primeira agência mundial neste sector;
  - O Clube de Roma publica o relatório denominado “Os Limites de Crescimento”
- 1974** - Cientistas americanos, publicam um artigo mostrando que os clorofluorcarbonetos (CFC) podem destruir a camada de ozono na estratosfera.
- 1976** - Criado um organismo de registo de comércio de flora e fauna selvagens (TRAFFIC) como medida de reforço da Convenção CITES (Convenção de Washington sobre o Comércio de Espécies da Fauna e Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção).
- 1979** - A Conferência Mundial do Clima, realizada em Genebra, conclui que o “efeito de estufa”, devido ao aumento do dióxido de carbono na atmosfera, necessita de urgentes medidas de acção pela comunidade internacional.
- 1980** - Publicada a Estratégia Mundial de Conservação da Natureza.
- 1983** - Criada a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Assembleia Geral das Nações Unidas, no âmbito da qual é elaborado o relatório O Nosso Futuro Comum, geralmente conhecido pelo Relatório Brundtland.
- 1985** - Satélites detectam uma rarefacção da camada de ozono na zona do Antártico, confirmando assim os efeitos dos CFC.
- 1986** - Uma explosão e incêndio num reator da central nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, liberta cerca de sete toneladas de material radioactivo para a atmosfera, provocando o maior acidente nuclear do Mundo.
- 1987** - Publicação do relatório Brundtland, que apresenta o conceito de desenvolvimento Sustentável.
- 1992** - Realiza-se a Cimeira da Terra, no Rio de Janeiro, sendo assinados os protocolos relativos à biodiversidade e desertificação. São dados os primeiros passos para a aplicação da Agenda 21 e da convenção para as alterações climáticas.
- 1993** - Implementação do Tratado de Maastricht que vem reforçar a política ambiental ao introduzir a sustentabilidade como um dos objectivos da União Europeia.
- 1994** - Conferência Europeia sobre as Cidades Sustentáveis (Aalborg): aprovada a Carta de Aalborg as cidades comprometem-se a aplicar localmente os princípios do Desenvolvimento Sustentável.
- 1995** - A França realiza vários testes nucleares em atóis do Pacífico, sob um coro de protestos.
- 1996** - Segunda Conferência sobre as Cidades Sustentáveis (Lisboa):.
- 1997** - Realiza-se a Convenção Quadro sobre Alterações Climáticas, conhecida por Protocolo de Quioto. Os representantes de mais de 150 países chegam a acordo para que, até 2010, haja uma redução dos gases de efeito de estufa, numa média de 5,2 por cento relativamente a valores de 1990.
- Assembleia Geral das Nações Unidas: sessão especial sobre o meio ambiente e o desenvolvimento, Rio + 5 (Nova Iorque): estabelecido um programa para uma melhor aplicação da Agenda 21.
- 1999** - Conferência Euro-Mediterrânea das Cidades Sustentáveis (Sevilha): avaliação da aplicação da Carta de Aalborg e do Plano de Acção de Lisboa no desenvolvimento sustentável.
- 2000** - A NASA anuncia que o buraco na camada de ozono sobre a Antártida atingiu uma área de 28,3 milhões de quilómetros quadrados;
- A União Europeia proíbe a comercialização de gasolina com chumbo.
  - Terceira Conferência sobre as Cidades Sustentáveis (Hannover): aprovada a Carta de Hannover – balanço sobre a Campanha das Cidades Europeias Sustentáveis nos últimos anos.
- 2001** - Numa reunião em Haia, o Protocolo de Quioto é aprovado, embora mais tarde os Estados Unidos, Canadá e Austrália se recusem a ratificá-lo.
- 2002** - Uma gigantesca fracção da Península da Antártida, com 3 200 KM2, separa-se da parte continental, sendo relacionado com o aquecimento global;
- Realiza-se a Cimeira da Terra em Joanesburgo;
  - Naufrágio do petroleiro Prestige na costa da Galiza, com o derramamento de um manto de crude.
  - Cimeira Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (Joanesburgo): revisão do que foi implementado na Conferência do Rio.
- 2003** - IV Conferência Ministerial para a Protecção das Florestas na Europa na Áustria
- 2004** - Tem início a fase experimental do mercado mundial de emissões poluentes.

**Figura 1 – Lista cronológica de acontecimentos relacionados com o desenvolvimento sustentável [2]**

## 2.2 PRINCIPAIS CONCEITOS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O Desenvolvimento Sustentável é um conceito muito mais complexo do que a simples protecção do meio ambiente, ou seja, implica a preocupação pelas gerações futuras e pela salubridade e integridade, a longo prazo, do meio ambiente. Isto inclui a qualidade de vida, a preocupação com a equidade entre gerações (as gerações futuras merecem um ambiente pelo menos tão bom como aquele de que usufruímos actualmente, se não melhor), a igualdade entre as pessoas no presente (incluindo a prevenção da pobreza), e as dimensões social e ética do bem-estar humano. Implica ainda, que só deverá haver um maior desenvolvimento se este se situar dentro dos limites da capacidade de carga dos sistemas naturais. E se, por um lado, o consumo de recursos naturais tem aumentado exponencialmente devido a uma sociedade cada vez mais numerosa, que cresce a um ritmo de 250.000 pessoas por dia, cada vez mais tecnologicamente desenvolvida e em que os padrões de conforto são cada vez mais exigentes, por outro, a quantidade disponível de recursos apresenta um comportamento inverso [Fig.2].

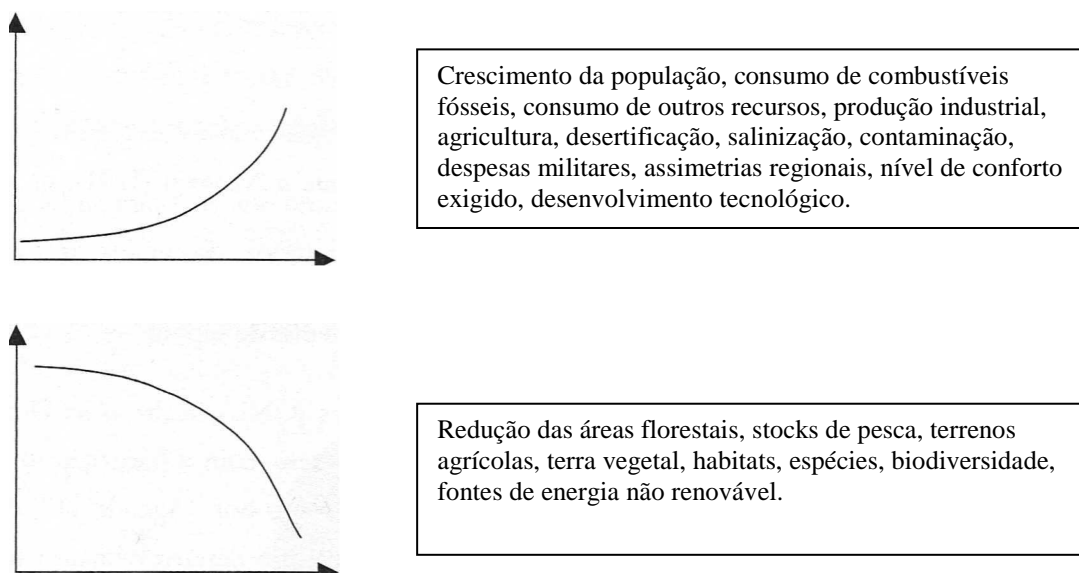


Figura 2 – Demonstração da contradição existente entre vários sectores

A realização da Agenda 21 representa, visivelmente, um novo e grande desafio. Será necessário que as corporações do sector privado reformem as suas metodologias de administração e de produção. Implica que os governos locais modifiquem a forma como as suas estruturas municipais operam. Necessita que os serviços e recursos municipais possam ser sustentáveis e equitativamente distribuídos para as gerações futuras. Para atingir este objectivo foi definida uma metodologia de planificação estratégica que considera, igualmente a comunidade a longo termo e as preocupações ecológicas e económicas, que é preciso seguir. A satisfação de necessidades humanas básicas, como é o caso, do consumo de água potável ou de alimentação, podem ter associados problemas ambientais graves, visto que na exploração agrícola para a produção de alimentos, são utilizados pesticidas e adubos, com consequente contaminação de solos e no caso da produção de água potável são produzidas grandes quantidades de lamas e é dispendida energia com consequente emissão de CO<sub>2</sub>.

Para a sustentabilidade ser uma realidade, é necessário colocar em prática questões ambientais que visam a redução de consumo de recursos, a redução de produção de resíduos e a preservação da função



e biodiversidade dos sistemas naturais. O objectivo é que o consumo de água, energia e materiais ocorra a um nível passível de serem renovados.

Os problemas ambientais no nosso planeta resultam, como se sabe, da acção do homem. No entanto, para a resolução destes é necessário ter em conta factores sociais, em que são incluídos o bem-estar pessoal, as diferentes culturas, hábitos e valores. Ou seja, a satisfação das necessidades humanas não se cinge apenas à satisfação das necessidades básicas das pessoas, mas envolve também factores, tal como, a educação, o lazer e o ambiente saudável. A resolução destas necessidades é sustentada simultaneamente com o desenvolvimento económico.

Um crescimento económico sustentado está na base da satisfação das necessidades dos indivíduos e a prevenção dos problemas ambientais tem obrigatoriamente de integrar medidas políticas de desenvolvimento económico sustentável.

Ou seja, a sustentabilidade envolve três factores: o ambiente, a economia e a sociedade. Criando assim o denominado triângulo de sustentabilidade e que a seguir se representa [3]:

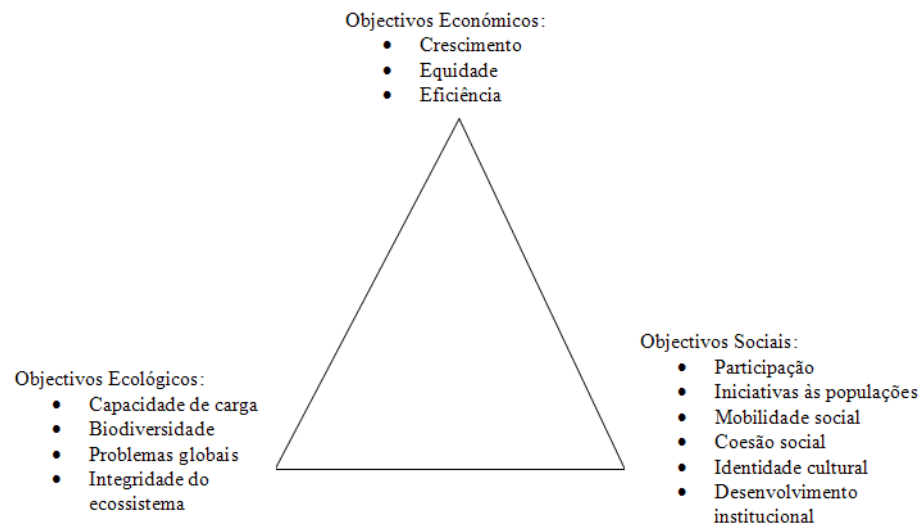


Figura 3 – triângulo de sustentabilidade

Actualmente, o factor que apresenta maior relevância por parte da comunidade na sua maioria, é o económico, deixando para segundo plano a dimensão social e praticamente nulo o desenvolvimento ao nível da dimensão ambiental. Esta assimetria, na maneira como o Homem encara cada uma destas três dimensões, coloca seriamente em risco, a curto prazo, a sobrevivência das gerações futuras.

No que diz respeito aos países em desenvolvimento, estes não podem seguir os mesmos modelos adoptados pelos países desenvolvidos, falando é claro do campo da economia (que é o factor que sempre se pôs mais em evidência). O desenvolvimento económico é vital para os países mais pobres, mas o caminho a seguir não pode ser o mesmo adoptado pelos países industrializados. Mesmo porque não será possível. Caso as sociedades dos países subdesenvolvidos copiassem os padrões das sociedades dos países desenvolvidos, a quantidade de combustíveis fósseis consumida actualmente aumentaria 10 vezes e a de recursos minerais, 200 vezes. Ao contrário de aumentar os níveis de consumo dos países em desenvolvimento, é preciso reduzir os níveis observados nos países industrializados. [4]

O crescimento económico e populacional das últimas décadas têm sido marcados por disparidades. Embora os países desenvolvidos possuam apenas um quinto da população do planeta, eles detêm

quatro quintos dos rendimentos mundiais e consomem 70% da energia, 75% dos metais e 85% da produção de madeira mundial.

De seguida, apresentam-se diversas citações que ilustram o conceito de *Desenvolvimento Sustentável* segundo vários autores:

- Brundtland, 1987: “*capacidade da humanidade garantir que corresponde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de assegurarem as suas próprias necessidades. O desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração de recursos, a direcção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais são compatibilizadas com as necessidades futuras assim como as presentes*”
- Allen, 1980: “*Desenvolvimento que é susceptível de atingir uma satisfação duradoura das necessidades humanas e melhorar a qualidade de vida humana*”
- Nações Unidas, 1991: “*Desenvolvimento Sustentável significa melhorar a qualidade de vida sem ultrapassar a capacidade de carga dos ecossistemas de suporte*”

### 2.3 SOLUÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE SEGUNDO A PERSPECTIVA BIOMIMÉTICA

A biomimética (do Grego *bios*, vida, e *mimesis*, imitação) é uma área da ciência que tem como objectivo o estudo das estruturas biológicas e das suas funções, procurando aprender com a Natureza e utilizar esse conhecimento em diferentes domínios da ciência.

A biomimética observa a Natureza e procura estimular novas ideias para produzir sistemas sintéticos similares aos encontrados nos sistemas biológicos. Este estudo permite desenvolver ou aperfeiçoar novas soluções de engenharia, concluindo assim, que os biomimeticistas encontraram na Natureza um modelo perfeito de inspiração e de imitação.

Segundo a bióloga Americana Janine Benyus o biomimetismo é uma referência de inovação e de mudança para as actividades humanas e rege-se essencialmente pelos seguintes princípios:

- Considerar os resíduos como recursos;
- Diversificar e cooperar para uma utilização total do habitat;
- Utilizar a energia de forma eficiente;
- Optimizar em vez de maximizar;
- Usar parcimoniosamente os materiais;
- Não sujar o respectivo habitat;
- Não desperdiçar recursos;
- Manter-se em balanço com a biosfera;
- Basear-se em informação;
- Comprar localmente.

A biomimética constitui uma das áreas de investigação que mais ferramentas poderá trazer para a causa da protecção do desenvolvimento sustentável.

No fundo, trata-se de aprender com a natureza para melhor conseguir protegê-la e mantê-la viva num círculo fechado permanente de desenvolvimento [3]

## 2.4 CIDADES SUSTENTÁVEIS

Dois anos após a Cimeira da Terra do Rio de Janeiro em 1992, dá-se a Conferência Europeia sobre as Cidades Sustentáveis, na cidade Dinamarquesa de Aalborg, onde é implementada a Carta de Aalborg, a qual consiste numa declaração de compromisso das autoridades locais para o desenvolvimento de processos e estratégias, que levam à tomada de medidas da acção concretas para a sustentabilidade urbana. Assim, as cidades, enquanto unidades mais pequenas de desenvolvimento, estão em contacto directo com os inúmeros desequilíbrios arquitectónicos, sociais, económicos, políticos e ambientais que as afectam, devendo por isso identificá-los e resolvê-los adequadamente de uma maneira integrada, logística e sustentável. Para tal, torna-se importante que os poderes locais iniciem um processo de diálogo com todas as entidades, desde escolas e universidades, empresas, organizações e comunidade em geral, a quem deve ser dada informação e possibilidade de participação.

Segundo Herbet Giradet, uma cidade sustentável deve estar organizada de modo a permitir que os seus cidadãos satisfaçam as suas próprias necessidades e melhorem o seu bem-estar, sem causarem danos no ambiente natural ou colocarem em risco as condições de vida de outras pessoas no presente ou no futuro. Para isso, as autoridades locais devem encarar a cidade como um organismo vivo, que necessita de funcionar bem e que deve ser sustentável em termos ambientais, sociais e económicos.

As cidades actuais apresentam problemas de qualidade do ar (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e partículas), ruído e, directamente ou não, consomem cerca de 80% da energia fóssil, sendo que grande parte desta é perdida em transporte e produção. No que diz respeito aos alimentos, são transportadas centenas de milhares de toneladas de produtos alimentares das zonas rurais para as urbanas e os veículos automóveis ocupam um terço do espaço citadino, gerando poluição atmosférica e acústica. São produzidos resíduos e efluentes de forma significativa e muitos deles com algum grau de perigosidade.

Para defender o conceito de sustentabilidade, as cidades devem apostar nas energias renováveis, especialmente na solar. Exemplo disso, seria o caso de abastecer as coberturas japonesas com painéis solares permitindo assim diminuir cerca de 60% do consumo de energia através de fontes não renováveis.

As árvores são purificadoras do ar, ou seja, só uma árvore é capaz de, através da fotossíntese, transferir 380 litros de água para o ar e fornecer oxigénio durante o dia, removendo o dióxido de carbono.

Outra solução para a sustentabilidade das cidades é a utilização de transportes públicos eficientes, de maneira a por de lado o uso do automóvel particular, bem como a utilização de veículos de emissão zero, movidos a hidrogénio. A utilização de bicicletas, tal como é utilizada na Holanda ou na Suíça, é claramente a opção mais eficiente energeticamente. Manter os automóveis fora dos centros das cidades constitui um princípio importante, pois permite libertar espaço para as áreas de lazer públicas, para as áreas verdes e produção de alimentação e habitação.

Cidades com um sistema eficaz de reciclagem mostram que é possível reciclar 75% dos resíduos domésticos. [3]

Sinal de que a humanidade está a acordar e está a pôr a criatividade em funcionamento pleno é o que está já em execução nos Emirados Árabes Unidos, mais concretamente em Abu Dhabi, onde irá nascer a primeira cidade mundial completamente sustentável, designada de Masdar (“a fonte” em árabe). Esta foi desenhada pelo gabinete britânico de arquitectos Foster and Partners e representa um investimento inicial de 5 biliões de dólares. A previsão dos 50 mil possíveis moradores se poderem lá estabelecer é para inícios de 2009. E inclui também espaços de comércio, lazer, centros tecnológicos e universidades, espalhados por 6 km<sup>2</sup>. [5]

Esta cidade será livre de emissões de carbono e desperdícios, uma vez que vai funcionar 100% à base de energias renováveis e 99% do lixo produzido na região será reciclado ou transformado em compostos. No que respeita às energias renováveis, Masdar terá a maior central de energia fotoelétrica do mundo e energia eólica captada por turbinas construídas na periferia da cidade.

A água necessária será captada no mar e transformada em água potável em centrais de dessalinização e a água residual produzida pela cidade, não potável, será utilizada para sistemas de irrigação de plantações destinadas à produção de biocombustíveis e ao sumptuoso projecto de paisagismo.

De acordo com o projecto dos arquitectos, a cidade será isenta de automóveis. Apenas haverá transportes públicos e nenhum pedestre terá que andar mais de 200 m para ter acesso ao transporte público. Além disso, a maioria das ruas da cidade serão estreitas e sombreadas, terão apenas 3 m de largura e 70 m de comprimento para facilitar a passagem de ar e incentivar a caminhada.

Esta é uma aposta inteligente para o futuro do país, uma vez que dentro de algumas décadas o petróleo acabará e a cidade terá que ter outras fontes de rendimento.

Segundo um comunicado da Foster and Partners “Masdar promete estabelecer padrões para as cidades sustentáveis do futuro”. [6]



Figura 4 – Futura cidade Masdar

Outras cidades sustentáveis estão já em estudo e execução, como é o caso de Dongtan, perto da cidade de Shanghai na China e de Bedzed na periferia da cidade de Londres na Grã-Bretanha. Esta última já está em funcionamento e representa um projecto de sustentabilidade não só ambiental, mas também social, já que promove a inclusão de populações carenciadas, os edifícios têm alta eficiência energética, sendo alimentados por energias renováveis como a solar e a eólica e as ruas estão concebidas para a circulação pedestre e de velocípedes, com um sistema eficaz de transportes públicos.



Figura 5 – Eco-cidades de Dongtan e de Bedzed

Cidade sustentável, define-se como sendo aquela que satisfaz os requisitos sociais, ambientais, culturais e políticos, da mesma maneira que os económicos e físicos. A cidade constitui um organismo dinâmico, tão complexo como a própria sociedade e que se adapta suavemente às suas mudanças. Segundo Richard Rogers (Rogers, 2001) uma Cidade Sustentável é aquela que abrange os seguintes factores [3]:

- Cidade justa - onde justiça, alimento, abrigo, educação, saúde e esperança estão distribuídos de forma razoável e em que as pessoas participam na sua governação;
- Cidade bela – onde arte, arquitectura e paisagem espelhem a imaginação e harmonia e sejam mobilizadores para o espírito;
- Cidade criativa – onde a abertura de mentalidade e o espírito de experimentação mobilizem todo o potencial dos recursos humanos e permitam uma resposta rápida à mudança;
- Cidade ecológica – que minimize o seu impacto ecológico, onde a paisagem e as formas construídas estejam equilibradas e onde os edifícios e as infra-estruturas sejam eficientes do ponto de vista dos recursos;
- Cidade de contactos fáceis – onde a coisa pública encoraje a comunidade e mobilidade e onde a informação seja trocada de forma directa ou electronicamente;
- Cidade compacta e policêntrica – que proteja os espaços rurais e naturais envolventes, que integre as comunidades em bairros e maximize a vizinhança e sua sã convivência;
- Cidade diversa – onde uma vasta gama de actividades sobrepostas criem animação, inspiração e contribuam para uma vida pública com vitalidade e originalidade.



Figura 6 – exemplo esquemático de uma cidade insustentável

**Cidade insustentável** é aquela que não pauta o seu crescimento e organização pelos limites de carga dos sistemas naturais, pondo em risco a sua existência equilibrada no futuro





Figura 7 – exemplo esquemático de uma cidade sustentável

**Cidade sustentável** é a cidade que é capaz de satisfazer as suas necessidades no presente, sem comprometer a capacidade para satisfazer as suas necessidades no futuro, visando a integridade e a estabilidade social e económica e a qualidade de vida da sua população [1]

Concluindo, as cidades modernas têm enorme impacto sobre o seu ambiente, mas poderiam ainda prosperar se decidissem reduzir drasticamente o seu consumo de recursos e de energia. A reciclagem de resíduos pode reduzir maciçamente a utilização urbana de recursos e ao mesmo tempo criar muitos novos empregos. Novos materiais e desenhos arquitectónicos podem melhorar grandemente o desempenho ambiental dos edifícios urbanos.

As cidades podem também adoptar novas abordagens imaginativas ao planeamento e gestão dos transportes e à utilização do espaço urbano. Podemos melhorar drasticamente a vivência urbana através da criação de novas aldeias urbanas, reduzindo o desejo das pessoas de escapar às pressões da vida urbana.

## 2.5 O QUE É PRECISO PARA ALCANÇAR O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O mundo enfrenta uma ameaça causada pela própria actividade humana – o aquecimento global – e as cidades, onde metade da população mundial vive, estão sobrelotadas, congestionadas, extremamente poluídas e com emissão de gigantescas quantidades de desperdícios gerados todos os dias. Pior ainda, são dependentes de um combustível muito poluente e que pode acabar a curto prazo, o petróleo. Por estas razões é necessário implementar medidas sérias com vista a atingir o desenvolvimento sustentável, isto é, criar mecanismos de modo a satisfazer as necessidades da geração actual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.

Para ser alcançado, o desenvolvimento sustentável depende do planeamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos. Esse conceito representa uma nova forma de desenvolvimento económico, que tem em conta o meio ambiente e os factores sociais.

Muitas vezes, desenvolvimento é confundido com crescimento económico, que depende do consumo crescente de energia e recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento tende a ser insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais dos quais a humanidade depende. Actividades económicas podem ser encorajadas em detrimento da base de recursos naturais dos países. Desses recursos depende não só a existência humana e a diversidade biológica, como o próprio crescimento económico. O desenvolvimento sustentável sugere, de facto, qualidade em vez de quantidade, com a

redução do uso de matérias-primas e produtos, o aumento da reutilização e da reciclagem e na utilização de recursos renováveis, como é o caso da energia solar e energia eólica.

Já Mahatma Gandhi indicava que os modelos de desenvolvimento precisariam de mudar, quando depois da Independência da Índia lhe questionaram se iria seguir o estilo de vida britânico ao responder: “...a Grã-Bretanha precisou de metade dos recursos do planeta para alcançar sua prosperidade. Quantos planetas não seriam necessários para que um país como a Índia alcançasse o mesmo patamar?”





## 3

**CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL****3.1 DEFINIÇÃO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**

O desenvolvimento sustentável não é apenas uma bandeira dos ecologistas e já se constitui como uma preocupação real para a indústria da construção, quer a nível nacional quer internacional. A indústria da construção, devido à grande quantidade de recursos que consome, à quantidade de resíduos que produz, à sua implicação na economia dos países e à sua inter-relação com a sociedade, assume um papel fundamental e uma parte importante dos objectivos e metas que regem o desenvolvimento sustentável

O conceito de construção sustentável não é recente, pois existem indícios documentados, que remontam à Antiguidade Clássica, onde se referem as ligações entre os meios natural e artificial. Este conceito foi abordado pelo arquitecto e engenheiro romano Vitruvius (séc. I a. C.), no seu tratado de arquitectura, através de certas recomendações acerca de temas como a localização, orientação e iluminação natural dos edifícios.

Nos finais do século XVIII, com o início da Revolução Industrial em Inglaterra, assistiu-se à migração de pessoas das zonas rurais para as cidades mais industrializadas, na tentativa de encontrarem melhores empregos e mais satisfatórias condições salariais. Nesta altura, o número de pessoas nos centros urbanos aumentou desmesuradamente e as cidades expandiram-se rapidamente e sem qualquer ordenamento. O rápido crescimento destas cidades não foi acompanhado por igual crescimento das infra-estruturas e por um correcto planeamento e desenho urbano, pelo que as condições que estas proporcionavam eram de extrema insalubridade. A corrente de pensamento de índole sanitária que daí adveio traria consigo as sementes de um novo conceito, o da relação do ambiente construído com o meio ambiente.

Só muito mais tarde, dois séculos depois, na conferência do Rio de Janeiro (Rio-92) é que ganhou ênfase o conceito de "construção sustentável", o qual visava o aumento de oportunidades para as gerações futuras, através de uma nova estratégia ambiental direccionada para a produção de construções melhor adaptadas ao meio ambiente e às exigências dos seus utilizadores. Nesta conferência, foram definidas as orientações para as estratégias locais e nacionais a aplicar na construção. Um dos aspectos particulares enfatizado neste contexto realça que se por um lado se assistia ao crescimento exponencial do consumo energético no sector dos edifícios, por outro continuava-se a assistir à falta de adequação da arquitectura ou do projecto dos edifícios e do desenho e planeamento urbano às condições climáticas locais.

Ou seja, de entre os vários sectores de actividade da nossa sociedade, o sector da construção, não apenas na sua fase de operacionalização (utilização do edifício), mas considerando também a sua fase de obra (construção propriamente dita) tem sérias responsabilidades no que respeita ao impacto ambiental negativo que lhe está adjacente. De entre os vários impactes, salientam-se: a produção de resíduos, o consumo de energia, as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de recursos naturais. Segundo a Agenda 21 para a Construção Sustentável, só durante a fase de construção são consumidos cerca de 50% dos recursos naturais, produzidos mais de 50% dos resíduos, consumida mais de 40% de energia (nos países industrializados, sendo em Portugal cerca de 20% da energia total do país) e produzidas cerca de 30% das emissões de CO<sub>2</sub>.

Assim, e sendo o ambiente construído, em particular os edifícios, indispensáveis à vida humana, é necessária uma actuação junto deste sector, de molde a que, também ele seja um forte impulsionador do desenvolvimento e crescimento da sociedade, minimizando o seu impacto ambiental negativo, apostando fortemente na racionalização do consumo de energia, entre outros aspectos também relevantes.

Importa ainda salientar o facto de Portugal possuir um parque urbano sobrelotado, evidenciando-se necessária a reabilitação de edifícios existentes como prioridade em relação à nova construção. Esta é já uma forte aposta da União Europeia, sendo Portugal o país onde a taxa de reabilitação é menor.

Reabilitar edifícios possibilita a diminuição do impacto da produção de energia, a redução da extracção de matérias-primas para a construção e a diminuição da produção de materiais de construção. As actividades a realizar em obra são muito mais circunscritas e os estaleiros mais reduzidos, sendo ainda a necessidade de transportes de materiais consideravelmente menor, diminuindo em consequência o impacto ambiental negativo causado na envolvente.

Assim, a nova construção em detrimento da reabilitação, conduz a que se verifique a ocorrência de um crescimento urbano excessivo, conduzindo nomeadamente à extracção em meio terrestre, marinho e fluvial de grandes quantidades de inertes, ao mesmo tempo que ocorrem grandes consumos energéticos e emissões excessivas de CO<sub>2</sub> e de outros poluentes. Isto para além de continuarem a ser ocupadas e impermeabilizadas novas áreas de solo importantes para a conservação dos valores e equilíbrios naturais e para as várias actividades humanas.

Definição de construção sustentável segundo Kibert, 1994: <i>“Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e princípios ecológicos”</i>
---

Um novo rumo para o sector da construção em Portugal é urgente, pela necessidade de um reordenamento do território com base num planeamento urbano adequado e de tornar a construção mais eficiente do ponto de vista da conservação de energia, indo ao encontro dos compromissos assumidos por Portugal e pela União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto e do desenvolvimento sustentável.

A responsabilidade por uma casa saudável e de baixo impacto ambiental está associada a diferentes opções e fases. Começa na escolha de materiais aliada ao seu *design* de elementos, passa pela utilização quotidiana do espaço, para terminar na escolha dos métodos e destinos do seu desmantelamento no fim da sua vida útil [7].

### 3.2 PRINCIPAIS QUESTÕES AMBIENTAIS RELACIONADAS COM AS ACTIVIDADES CONSTRUTIVAS

No que diz respeito às actividades construtivas, as principais preocupações a nível ambiental em todo o seu ciclo de vida, indicam-se na tabela 1 [3].

Tabela 1 – Principais questões ambientais relacionadas com a actividade construtiva

Descritor	Preocupação	Descritor	Preocupação
Água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origem, Licença de Utilização</li> <li>• Qualidade</li> </ul>	Efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destino</li> <li>• Valores limite</li> </ul>
Ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores limite</li> <li>• Qualidade</li> </ul>	Biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protecção dos valores naturais</li> </ul>
Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo</li> <li>• Quantidade</li> </ul>	Património Construído	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protecção de valores arquitectónicos</li> </ul>
Matérias-Primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo</li> <li>• Quantidade</li> </ul>	Riscos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias e materiais perigosos</li> <li>• Controlo dos riscos</li> </ul>
Solo e Condicionantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RAN/REN</li> <li>• Paisagem</li> <li>• Zonas de paisagem protegida</li> </ul>	Impacte Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo de avaliação</li> <li>• Requisitos do DIA</li> </ul>
Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantidade</li> <li>• Destino</li> <li>• Transporte</li> </ul>	Ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores limite</li> <li>• Modelos de gestão</li> </ul>

As preocupações acima indicadas remetem, como se verá mais à frente, ao cuidado a ter em diferentes fases da construção. Desde o planeamento da obra até à sua demolição.

### 3.3 NOVO PARADIGMA DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Enquanto que tradicionalmente as preocupações incidiam somente na qualidade do produto, nos custos associados e no tempo gasto (**Figura 8**), a construção sustentável pretende propor novas orientações relativamente à concepção, construção, operação e demolição, de modo a permitir melhorar o seu desempenho ecológico.

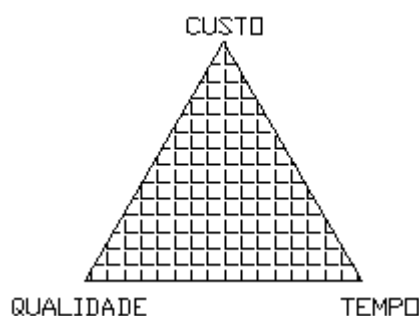


Figura 8 – Aspectos competitivos na construção tradicional

A introdução das preocupações ambientais estão a levar a que o conceito de qualidade na construção comece a abranger os aspectos relacionados com a qualidade ambiental, através da denominada

construção eco-eficiente [Figura 9]. Esta traduz-se por construir com o impacto ambiental mínimo, ou seja, a nível do consumo de recursos e da emissão de poluentes, ou até se possível, criar edifícios com efeitos reparadores do meio ambiente.

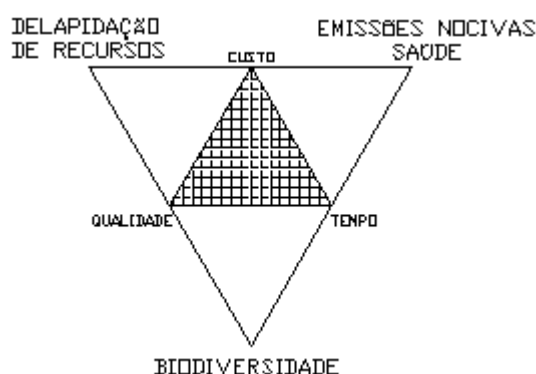


Figura 9 – Construção eco-eficiente

Integrando os princípios da eco-eficiência com as condicionantes económicas, a equidade social e o legado cultural, está-se na presença do novo paradigma da construção [8] [Figura 10].

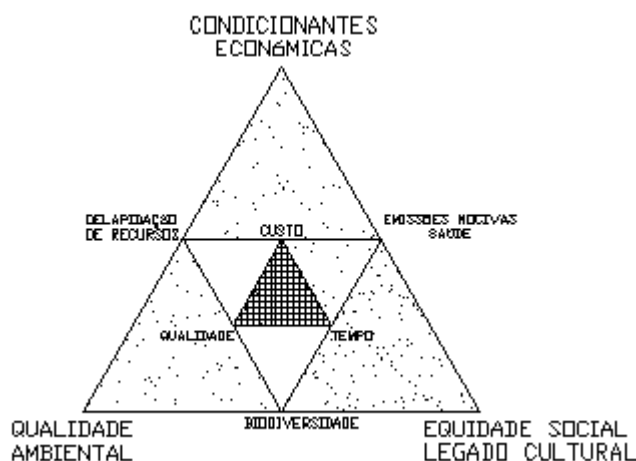


Figura 10 – Construção sustentável

Nesta perspectiva, o papel dos vários agentes é fundamental, incluindo o sector da extracção dos materiais, o dos construtores, os clientes das estruturas edificadas, os gestores e os responsáveis pela manutenção. Pode, assim, dizer-se que este novo modo de conceber a construção, procura satisfazer as necessidades humanas, protegendo e preservando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos naturais [3].

### 3.4 CICLO DE VIDA DAS CONSTRUÇÕES E SEUS IMPACTES AMBIENTAIS

As actividades associadas à construção de ambientes construídos, infra-estruturas e edifícios, bem como os seus efeitos ambientais, variam com as respectivas tipologias e ao longo do seu ciclo de vida. “A forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e

reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo completo das actividades construtivas sustentáveis". [3]

O ciclo de vida das construções inicia-se na concepção e perpetua-se até à desactivação [Fig.11]. Assim, a criação de infra-estruturas e edificações envolve todo o ciclo da construção, embora a sua maior expressão, em termos construtivos, ocorra na fase de construção propriamente dita e na fase de Demolição

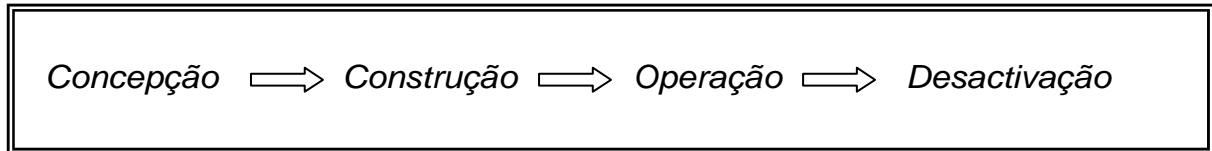


Figura 11 - Ciclo de vida das construções

Quando se abordam os efeitos da construção, muitas vezes centra-se a análise numa parte importante dos seus efeitos negativos e incomodidades associados à obra em si mesma, isto é, à fase de construção, quando grande parte dos benefícios se associam à fase de operação, pelo que tal pode conduzir a uma abordagem pouco representativa.

A fase de construção está, no geral, associada a períodos mais reduzidos (meses), face à fase de operação (anos). Refira-se que a maioria das infra-estruturas e edifícios projectados na actualidade tem um tempo de vida superior a 40 anos e alguns dos edifícios e estruturas existentes pode ultrapassar, ou já ultrapassam, os 100 anos. Isto significa que as estruturas construídas têm impactes com efeitos muito duradouros, quer a nível dos consumos, quer na acumulação dos materiais, quer ao nível das emissões e cargas poluentes, cujos efeitos ambientais importa considerar.

Nesse contexto, os efeitos ambientais das actividades construtivas decorrem não só do acto de construir, mas também da operação das estruturas construídas (incluindo a sua manutenção) e até da sua desactivação (cada vez mais referida como "desconstrução"), sendo os seus efeitos (impactes diferenciados em cada uma das fases) representados na Figura 12.

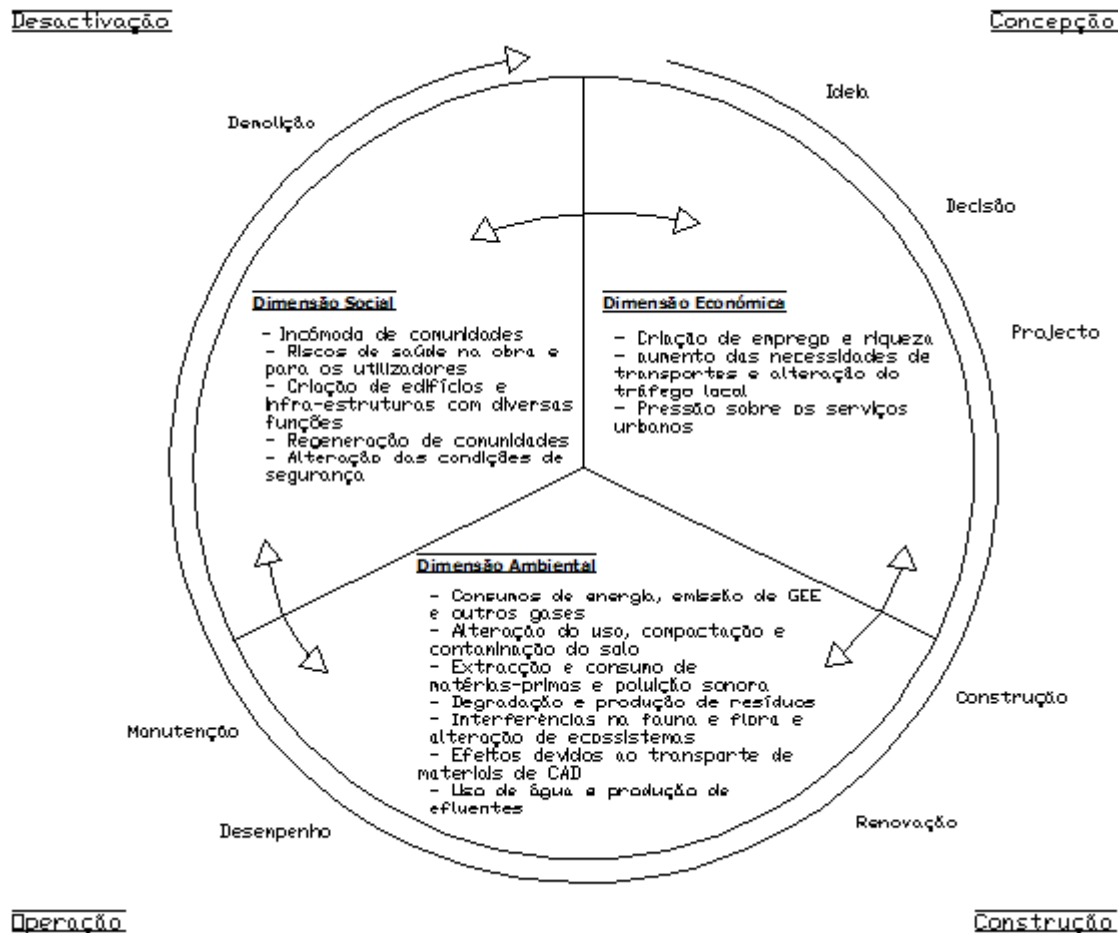


Figura 12 - Impactes ambientais causadas pelas actividades da construção [3]

Em síntese, os impactes ambientais mais relevantes provocados pela construção civil podem considerar-se os seguintes: a extração e o consumo de matérias-primas, a alteração do uso do solo, a compactação do solo e, eventualmente, a sua contaminação, o ruído resultante das actividades construtivas e de operação (poluição sonora), os consumos de energia e as emissões de gases com efeito de estufa, bem como outras emissões, a afectação das espécies naturais e seus habitats e a intrusão visual e a alteração da paisagem natural.

Ao nível dos sistemas socio-económicos, podem referir-se: incómodos nas populações e comunidades, eventuais riscos de saúde pública, na obra e para os utilizadores, necessidades suplementares de acessibilidades, de transportes e de alteração do tráfego local, pressão sobre as infra-estruturas e serviços urbanos, alteração das condições de segurança, mas também geração de emprego, conforto, funcionalidade, riqueza e desenvolvimento.

Se analisadas integradamente no seu ciclo de vida as estruturas edificadas, em particular os edifícios, possuem uma importância diferenciada em termos de impacte ambiental ao longo do seu ciclo de vida, revelando uma importância, até agora, menos abordada, em particular na regulamentação.

Os edifícios e espaços envolventes (empreendimentos) respondem às necessidades humanas, originando na sua construção, operação e desactivação, impactes mais ou menos directos: nos recursos, nas emissões, nas cargas e nos ambientes construídos e de forma indirecta nos

ambientes naturais.

Um aspecto relevante a considerar assenta no facto de que para os edifícios satisfazerem as funções para que foram criados (por exemplo, residências, escritórios, entre outros) necessitam de infra-estruturas e por isso, de forma indirecta, também os impactes a elas associados podem decorrer da presença e operação dos edifícios.

Os impactes dos edifícios, tal como os das restantes estruturas, reflectem-se de forma distinta nas diferentes fases do seu ciclo de vida, desde a concepção à operação e desactivação (ou desconstrução).

Apresentam-se em seguida, detalhadamente, os impactes ambientais mais significativos relativamente a cada uma das etapas da vida de um edifício:

#### **a) Fase de concepção**

Em termos de dimensão, os impactes efectivos desta fase quase não apresentam significado quando comparados com as restantes fases, sendo essencialmente associados aos consumos de:

- Energia, transporte e deslocações: para analisar o local e efectuar os levantamentos necessários;
- Consumos e emissões associados à operação de escritórios: como grande parte da actividade é executada em escritórios, os efeitos da sua operação (consumo de energia, por exemplo) podem originar impactes ambientais;
- Consumo de papel: é uma fase de elevado consumo de papel, no desenvolvimento do plano e projecto, bem como no processo de autorização e licenciamento.

#### **b) Fase de construção**

Na fase de construção a atenção recai, sobretudo, sobre a forma de desenvolvimento do processo construtivo, sendo esta associada, essencialmente, à intervenção no local, com alteração do uso do solo, consumo de matérias-primas, energia e água e alterações nos ambientes natural e/ou construído.

Ou seja, os impactes ambientais causados nesta fase da obra, são importantes e incluem nomeadamente:

- Extracção e consumo de matérias-primas;
- Produção de resíduos devido ao não-aproveitamento de materiais nas novas construções e aumento destes no caso de demolição;
- Possível descarga e contaminação dos solos, se os materiais combustíveis e outros produtos perigosos existentes não forem devidamente armazenados ou controlados;
- Efeitos ambientais importantes nos meios hídricos se a água consumida nas actividades construtivas não for devidamente tratada;
- Produção de emissões poluentes com a necessidade de energia nas actividades construtivas e aumento da necessidade de transportes, o que por sua vez aumenta o tráfego, o consumo de combustível e as emissões atmosféricas, cria poluição acústica e vibrações e provoca a

degradação estética do local;

- Criação de zonas impermeabilizadas origina o aumento de escorrência superficial e aumento da probabilidade de cheias a jusante;
- Em zonas de ambientes naturais, ao serem intrusivas, as actividades construtivas provocam interferências na fauna e flora e alteram a dinâmica dos ecossistemas.

### **c) Fase de operação**

Os impactes relevantes associados ao empreendimento edificado, decorrentes da sua operação, resultam do seguinte: consumo de energia, de água e de materiais, produção de resíduos, de efluentes e de emissões atmosféricas, com consequentes impactes directos.

Como exemplos de impactos ambientais, podemos referir que cerca de metade dos CFC produzidos no mundo inteiro são usados na refrigeração de sistemas de ar condicionado e na refrigeração de edifícios e grande parte da água consumida, é depois descarregada sob a forma de efluentes líquidos, que exigem tratamento adequado, obrigando a dispor de ETAR's, consumindo energia e reagentes e produzindo lamas.

### **d) Fase de renovação e desactivação**

Esta é uma fase desenvolvida pelo sector da construção civil, com a mesma tipologia de efeitos anteriormente descritos para a construção, sendo de destacar que, dada a forma de eliminação ou desconstrução, ela se traduz num importante acréscimo, do ponto de vista de produção de resíduos.

Os restantes impactes são, no geral, mais reduzidos no que se refere ao consumo de materiais, existindo, contudo, impactes importantes ao nível da energia, das emissões (nomeadamente, de ruído e vibrações) e, em especial, nos resíduos (embora a nível nacional o seu valor seja, por enquanto, reduzido).

## **3.5 MATERIAIS E METODOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**

Na Natureza existe um conjunto de matérias-primas que, pelas suas características, foram largamente utilizadas na construção desde tempos imemoriais pelo Homem. São elas o barro, a madeira, a palha, as fibras vegetais, a pedra, a cal e muitos outros. Não se trata de recuar no tempo, mas antes analisar os benefícios que esta experiência pode trazer para o futuro.

Durante o processo de adaptação às condições climáticas, seleccionaram-se materiais e tipologias de construção que optimizavam o conforto com um dispêndio mínimo de recursos, e numa tentativa de melhorar as suas características técnicas e construtivas, os materiais foram submetidos a transformações proporcionais ao desenvolvimento técnico. Assim, fomos substituindo muitos dos anteriores materiais, melhorando as suas características, mas infelizmente causando vários impactes ambientais negativos (toxicidade, mau comportamento na presença de humidade, difícil reutilização, transformação da paisagem nos locais de extracção, etc.)



Ou seja, é também uma necessidade, a utilização de materiais de construção mais sustentáveis, de origem natural e local, com baixo valor de energia incorporada (energia dispendida desde a extracção da matéria-prima até à forma final do material apto a ser utilizado), reutilizáveis e/ou recicláveis. Tal como contemplar planos adequados de gestão ambiental durante a execução da obra, de forma a minimizar desperdícios e consumos desnecessários. [7]

Para que as construções sejam mais sustentáveis, os materiais devem obedecer aos seguintes requisitos:

- representarem menores custos energéticos, sociais, económicos e ambientais;
- terem origens em fontes renováveis, não poluentes e não tóxicas;
- serem duráveis e/ou com possibilidade de reutilização/reciclagem ou diminutos desperdícios;
- não afectarem a saúde.

Estes são os principais requisitos a exigir aos materiais de modo a transformar as nossas construções em produtos mais sustentáveis. Idealmente serão autóctones, ou seja, do mesmo local ou região, pois deste modo diminuirão o custo de transporte (que por vezes é muito elevado), já sem falar nas emissões poluentes e nos consumos de recursos associados ao transporte.

Para caminhar no sentido da construção sustentável, é necessário tomar medidas nesse sentido desde a fase inicial da obra, ou seja, desde a fase de planeamento e concepção, porque as decisões tomadas nesta fase determinam os custos do ciclo de vida, os consumos de energia, a qualidade do ar no interior dos edifícios e a reciclabilidade e reutilização dos resíduos de demolição. [9]

Nesta óptica, é possível apresentar uma lista de prioridades que podem ser consideradas os pilares da construção sustentável e que a seguir se desenvolvem:

- a) **Economizar energia e água.** Os edifícios devem ser concebidos de modo assegurar-se uma gestão eficiente dos consumos energéticos e de água. A energia eléctrica resulta principalmente da combustão de combustíveis fósseis. O processo produtivo de energia eléctrica apresenta elevado impacte ambiental devido à grande quantidade de gases poluentes emitidos e ao facto de utilizar como matéria-prima um recurso natural limitado e não renovável, pelo que se deverá reduzir ao máximo o seu consumo. O uso contínuo de energia constitui provavelmente o maior impacte ambiental dos edifícios, pelo que deve constituir a prioridade principal. Este ponto está relacionado com muitos aspectos, que vão desde a minimização dos consumos energéticos durante a fase de construção (adoptando sistemas de construção simples), até à redução dos consumos energéticos durante a fase de utilização através da utilização de fontes de energia renováveis, minimização dos consumos durante as estações de arrefecimento (Verão) e aquecimento (Inverno) e a optimização da iluminação e ventilação natural. O consumo de água nos edifícios está directamente relacionado com a produção de águas residuais pelo que importa assegurar uma gestão adequada deste bem precioso e cada vez mais escasso, através da introdução, por exemplo, de autoclismos com sistemas de descarga diferenciados, bases de chuveiros em detrimento de banheiras, torneiras monocomando, torneiras com temporizador e de descarga automática, entre outros.
- b) **Assegurar a salubridade dos edifícios.** Salvaguardando o conforto ambiental no seu interior, através da introdução e maximização da iluminação e ventilação natural, onde for possível. São de evitar os compartimentos que não possuam aberturas directas para o exterior do edifício.
- c) **Maximizar a durabilidade dos edifícios.** Actualmente projecta-se para a resistência e não para a durabilidade. Urge mudar esta situação, pois com pequenos investimentos nas fases de concepção e

construção é possível ampliar bastante o ciclo de vida dos edifícios. Para tal, devem ser utilizadas tecnologias construtivas e materiais de construção que sejam duráveis e as construções devem ser flexíveis de modo a permitirem o seu ajuste a novas utilizações. Quanto maior for o ciclo de vida de um edifício, maior vai ser o período de tempo durante o qual os impactos ambientais produzidos durante a fase de construção serão amortizados.

**d) Planear a conservação e a manutenção dos edifícios.** Actualmente, esquece-se que, após a construção, um edifício deve ser objecto de alguns investimentos periódicos que salvaguardem a sua conservação. Os edifícios possuem uma vida útil limitada e seguem um processo de envelhecimento desde a sua construção até à sua reabilitação e demolição. Inevitavelmente, com o passar dos anos, os edifícios tendem a deteriorar-se, através das acções físicas, químicas e mecânicas a que estão submetidos, chegando a atingir um estado de degradação que não é compatível com o conforto e a segurança estrutural previstos durante a fase de projecto, podendo mesmo em casos extremos verificar-se a sua ruína total ou parcial. Os edifícios comportam uma grande quantidade de recursos naturais e culturais que importa serem preservados, fazendo parte integrante da identidade do local onde estão implantados. Assim, os edifícios têm que ser vistos como um recurso valioso e não como algo que se usa e deita fora. As intervenções de manutenção e reabilitação permitem a dilatação do ciclo de vida das construções, com todas as vantagens inerentes, enunciadas no ponto anterior.

**e) Utilizar materiais eco-eficientes.** Materiais eco-eficientes ou ecológicos são todos os materiais que durante o ciclo de vida, desde a fase de extracção até à devolução ao meio ambiente, possuem um baixo impacto ambiental. São considerados materiais eco-eficientes os materiais que cumpram os seguintes requisitos:

1. *Não possuir químicos nocivos à camada de ozono* (como, por exemplo, CFCs e HCFCs). Deve ser evitada a utilização de espumas isolantes em que se utiliza como gases expansivos os HCFCs, como, por exemplo, o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno expandido extrudido (XPS) e a espuma rígida de poliuretano (PUR);

2. *Ser durável.* Como os consumos energéticos durante a fase de processamento dos materiais são elevados, um material que seja durável ou que requeira uma menor manutenção, contribui geralmente para a poupança energética. Materiais mais duráveis também contribuem para a diminuição dos problemas relacionados com a produção de resíduos sólidos;

3. *Exigir poucas operações de manutenção.* Sempre que possível, deve escolher-se materiais que exijam poucas operações de manutenção (tintas, materiais impermeabilizantes, etc.), ou aqueles cuja manutenção implique um baixo impacto ambiental;

4. *Incorporar baixa energia primária* (PEC - Primary Energy Consumption). A energia primária dos materiais resulta do somatório da energia consumida durante a extracção das matérias-primas, seu transporte para as unidades de processamento e no seu processamento. Quanto mais elaborado for o processamento maior será a energia primária. Sempre que a durabilidade dos materiais não seja comprometida e as reservas de matérias-primas o permitam, devem ser utilizados materiais com baixa energia primária, como por exemplo, a madeira;

5. *Estar disponível nas proximidades do local de construção.* O transporte dos materiais de construção implica custos económicos e ambientais (utilização de energia e emissão de gases poluentes). Deve-se preferir a utilização de materiais produzidos na região;

6. *Ser elaborado a partir de matérias recicladas e/ou que possuam grandes potencialidades para virem a ser recicladas ou reutilizadas.* Os materiais de construção realizados a partir de matérias recicladas participam na mitigação dos problemas relacionados com os resíduos sólidos, na

diminuição dos consumos energéticos durante a fase de transformação e contribuem para a preservação dos recursos naturais.

**f) Apresentar baixa massa de construção.** Quanto menor for a massa total do edifício menor será a quantidade de recursos naturais incorporada. Uma das soluções que pode substancialmente contribuir para uma construção mais racional será a introdução de tecnologias construtivas que permitam reduzir o peso das construções. Esta redução pode ser conseguida através da utilização de uma solução construtiva leve na envolvente vertical dos edifícios, com elevado desempenho térmico e acústico e da utilização pontual no seu interior de materiais de elevada massa, que desempenhem conjuntamente funções estruturais e de armazenamento térmico. A título de exemplo, o desenvolvimento de sistemas construtivos baseados numa estrutura de perfis leves de aço (LWFS - Light Weight Frame Systems) resultou da necessidade de se aumentar a racionalização da quantidade de matéria-prima a incorporar nas construções, consistindo numa evolução lógica dos sistemas de construção tradicional em betão armado.

**g) Minimizar a produção de resíduos.** Os resíduos da construção provêm das mais diversas fontes: produção dos materiais, perdas durante o seu armazenamento, transporte, construção, manutenção e demolição. É na fase de construção que se produz uma grande parte dos resíduos provenientes da indústria da construção. Durante as fases de transporte e construção poder-se-á diminuir a produção de resíduos através de um correcto acondicionamento e armazenagem dos materiais de construção. A diminuição da produção de resíduos na fase de construção pode ser conseguida através da maximização da utilização de sistemas pré-fabricados, que só pode ser conseguida através da utilização de dimensões padrão na fase de concepção e de uma concepção modular baseado em desenho paramétrico.

**h) Ser económica.** Uma construção só pode ser sustentável se, depois de integrados os princípios enunciados nos pontos anteriores, conseguir compatibilizar o seu custo com os interesses do dono de obra e dos potenciais utilizadores. A construção sustentável não pode competir com a construção tradicional se o seu custo for substancialmente superior. A análise económica de um sistema de construção deve ser efectuada durante as diversas fases do seu ciclo de vida: construção, utilização, manutenção e reabilitação, e demolição. O aumento da produtividade durante a fase de construção, através da utilização de sistemas construtivos simples, padronizados e que exijam uma menor carga de mão-de-obra, é um aspecto a considerar com vista à racionalização económica desta fase. Por outro lado, a diminuição do período de construção, constitui um factor económico importante pois permite maior rapidez no retorno do investimento inicial. Durante a fase de utilização devem ser considerados os benefícios económicos resultantes da melhor racionalização energética e de consumo de água e da maior durabilidade dos materiais, com a consequente redução dos custos de manutenção. A análise económica de um sistema construtivo não fica completa se não for considerado o valor residual das construções, isto é, o valor no final da sua vida útil, que depende da possibilidade dos seus materiais e componentes virem a ser reutilizados ou reciclados. Importa aqui salientar que o conceito de construção económica não é sinónimo de construção barata.

**i) Garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção.** Deve-se realizar uma escolha criteriosa dos materiais, produtos, sistemas construtivos e processos de construção, de modo a melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores e a potenciar a diminuição dos riscos de acidente, em cada uma das fases do ciclo de vida de uma construção.

Sobre a forma de tabelas e diferenciando as fases de obra, as áreas de intervenção relevantes a adoptar no sentido de obter uma construção mais sustentável, são as que constam nas tabelas 2, 3, 4 e 5 [3]:

Tabela 2 – Aspectos relevantes da construção sustentável na **fase de concepção**

Descritor	Problemas principais	Estratégia
<i>ENERGIA</i>	Optimização do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar sistemas de gestão energética</li> <li>Utilizar fontes de energia renovável</li> </ul>
	Optimização da iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projectar de maneira a maximizar a iluminação natural dentro dos edifícios</li> </ul>
	Optimização de aquecimento/arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projectar de maneira a que, devido à orientação do edifício e dos materiais a adoptar, não seja necessário recorrer exageradamente à utilização de sistemas de aquecimento/arrefecimento</li> </ul>
<i>AGUA</i>	Optimização do consumo de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projectar sistemas de gestão de água</li> <li>Projectar sistemas de armazenamento e reutilização de águas pluviais e de lavagem</li> </ul>
<i>AR</i>	Qualidade do ar interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projectar de maneira a assegurar a salubridade dos edifícios, através da maximização da iluminação e ventilação natural</li> <li>Não utilizar materiais tóxicos na construção dos edifícios</li> <li>Evitar a concepção de compartimentos sem abertura directas para o exterior dos edifícios</li> </ul>
<i>RUÍDO</i>	Ruído dentro da habitação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolar adequadamente a nível acústico compartimentos e locais de apoio e infra-estruturas, como é o caso de lavandarias e tubagens de águas residuais, respectivamente</li> </ul>
<i>RESÍDUOS</i>	Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Projectar de modo a que os resíduos sejam mínimos</li> <li>Projectar sistemas integrados de recolha de resíduos</li> </ul>
<i>OCUPAÇÃO DO SOLO</i>	Uso eficiente do solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aproveitar os imóveis já existentes</li> <li>Aumentar as actividades de reabilitação e recuperação</li> <li>Sempre que haja possibilidade, pensar em zonas industriais abandonadas para novas construções</li> <li>Criar edifícios multifuncionais</li> </ul>
	Escolha do local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar o contexto local ao nível de: clima, topografia, impacte visual, ruído, economia local</li> </ul>
	Aumentar a utilização de transportes públicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ter em conta a localização dos edifícios na proximidade de transportes públicos</li> </ul>
	Protecção da natureza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteger a vida selvagem e a flora locais</li> </ul>
<i>MATERIAIS</i>	Tipo de materiais a utilizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reciclar materiais em fim de vida</li> <li>Seleccionar materiais com melhor desempenho ambiental</li> </ul>
	Edifícios recicláveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar materiais recicláveis</li> <li>Projectar e construir tendo em conta o destino final</li> </ul>

<b>Descritor (Cont.)</b>	<b>Problemas principais (Cont.)</b>	<b>Estratégia (Cont.)</b>
<i>MATERIAIS</i>	Utilização eficiente de recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir o consumo de recursos</li> <li>• Reutilizar os recursos sempre que possível</li> <li>• Ter o cuidado de especificar exigências de desempenho, de maneira, a encorajar o uso mais eficiente de recursos</li> </ul>
	Utilização eficiente de matérias-primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar materiais locais e métodos de construção tradicionais</li> </ul>
	Materiais não-tóxicos não tóxicos e controlo climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ter maior consideração da toxicidade ambiental e ocupacional dos materiais</li> </ul>
<i>OUTROS</i>	Durabilidade dos edifícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximizar a durabilidade dos edifícios através de tecnologias construtivas e materiais de construção que sejam duráveis</li> <li>• As construções devem ser flexíveis de modo a permitirem o seu ajuste a novas utilizações</li> </ul>

Tabela 3 - Aspectos relevantes da construção sustentável na **fase de construção**

<b>Descritor</b>	<b>Problemas principais</b>	<b>Estratégia</b>
<i>ENERGIA</i>	Optimização do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoptar sistemas de construção simples</li> <li>• Ter em atenção a energia consumida na produção e transporte dos produtos de construção</li> <li>• Adoptar políticas de viagens “verdes”</li> <li>• Diminuir a necessidade de transporte para o local</li> </ul>
<i>ÁGUA</i>	Optimização do consumo de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer consumos racionais de água</li> </ul>
<i>AR</i>	Qualidade do ar na construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger os operários da construção civil com os equipamentos de protecção individual e colectiva adequados, quando se trata de operações que ponham em risco a sua saúde devido ao ar que respiram</li> </ul>
<i>RUÍDO</i>	Gestão do ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A utilização de maquinaria que provoque barulho incómodo para a vizinhança, deve ser utilizada em horários apropriados</li> </ul>
<i>RESÍDUOS</i>	Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceder á gestão local de resíduos de construção através da reciclagem destes, por exemplo</li> <li>• Através de um correcto acondicionamento e armazenagem dos materiais de construção, diminuir a produção de resíduos na fase de transporte e construção</li> </ul>
<i>MATERIAIS</i>	Utilização eficiente de matérias-primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitar matérias-primas resultantes das tarefas iniciais de preparação do terreno</li> </ul>

Tabela 4 - Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de operação

Descritor	Problemas principais	Estratégia
<i>ENERGIA</i>	Optimização de aquecimento/arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar sistemas de aquecimento/arrefecimento passivo</li> <li>Ao utilizar sistemas de arrefecimento/aquecimento “artificiais” ter em conta apenas os locais e compartimentos utilizáveis e necessários</li> <li>Os compartimentos desocupados, não devem ser alvo desta intervenção e devem ser isolados do resto do edifício</li> </ul>
	Optimização da iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sempre que possível, utilizar a iluminação natural</li> <li>Ao utilizar iluminação artificial preferir as de baixo consumo energético</li> </ul>
<i>ÁGUA</i>	Optimização do consumo de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar racionalmente a água</li> <li>Evitar banhos de longa duração e desperdícios de água</li> </ul>
<i>AR</i>	Qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ventilar adequadamente os edifícios</li> </ul>
<i>RUÍDO</i>	Gestão do ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os aparelhos que ponham em risco a comodidade auditiva da vizinhança, devem ser evitados ou utilizados em horários adequados</li> </ul>
<i>RESÍDUOS</i>	Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar sistemas de reciclagem adequados</li> <li>Racionalizar a produção de resíduos</li> </ul>
<i>OUTROS</i>	Manutenção dos edifícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>As intervenções de manutenção e reabilitação permitem a dilatação do ciclo de vida das construções</li> </ul>

Tabela 5 - Aspectos relevantes da construção sustentável na fase de demolição

Descritor	Problemas principais	Estratégia
<i>ENERGIA</i>	Optimização do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adoptar sistemas de demolição simples</li> </ul>
<i>AR</i>	Qualidade do ar na construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evitar a destruição de certos materiais como é o caso da combustão de madeiras</li> </ul>
<i>RUÍDO</i>	Gestão do ruído	<ul style="list-style-type: none"> <li>A utilização de maquinaria que provoque barulho incómodo para a vizinhança, deve ser seguida em horários apropriados</li> </ul>
<i>RESÍDUOS</i>	Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar técnicas de desconstrução apropriadas de maneira a otimizar a reciclagem</li> </ul>

### 3.6 EXEMPLOS DE ÁREAS DE INTERVENÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

#### 3.6.1 FONTES RENOVÁVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE

O consumo de energia eléctrica convencional nos edifícios pode ser reduzido se se aplicar sistemas que permitam a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis. Este tipo de

sistemas utiliza fontes de energia renovável, como o sol, o vento e a água, para produzirem electricidade com baixa emissão de GEE's (gases do efeito de estufa).

Existem vários tipos de sistemas para a produção doméstica de electricidade a partir de fontes renováveis, destacando-se os painéis solares fotovoltaicos, as micro-turbinas eólicas e os micro-hidrogeradores.

#### 3.6.1.1 PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Os painéis solares fotovoltaicos são constituídos por módulos que convertem directamente a energia solar em electricidade. Estes não apresentam partes móveis, pelo que são fiáveis e requerem baixa manutenção. A vida útil esperada para um painel solar fotovoltaico é actualmente de 20 anos ou mais. Este tipo de sistema torna-se adequado a zonas urbanas, pois permite a produção de electricidade sem emissão de ruído e ocupa pouco espaço. Estão a ser desenvolvidos e produzidos módulos solares sob a forma de material de construção que podem ser integrados nos diversos componentes de um edifício:

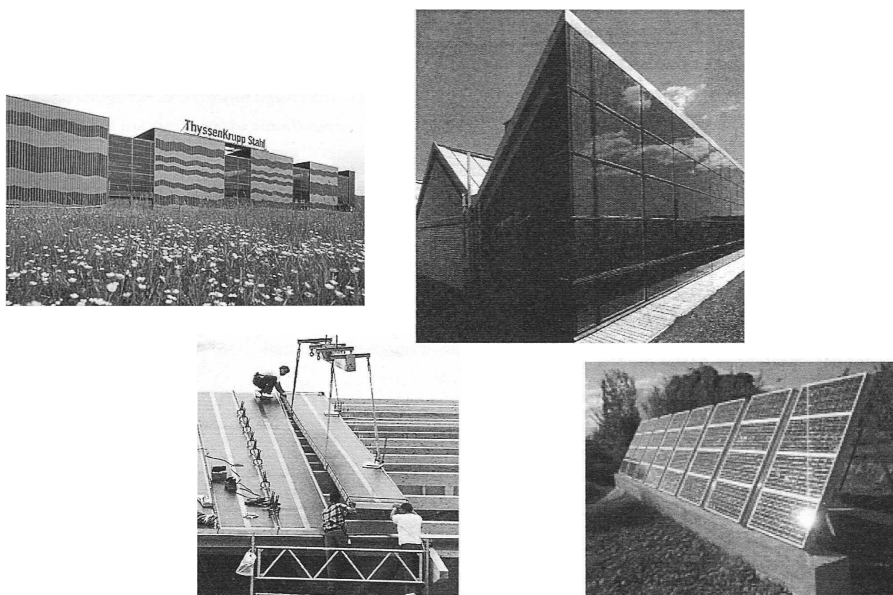


Figura 13 – Exemplos de módulos solares fotovoltaicos

#### 3.6.1.2 MICRO TURBINAS EÓICAS

As turbinas eólicas, também conhecidas por aerogeradores, transformam a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica. Existem vários tipos de aerogeradores, que variam na forma e no tamanho. O mais comum é o de turbina de eixo horizontal com pás, que é similar à hélice de um avião [Figura 14]



Figura 14 - Aerogerador doméstico de turbina horizontal com pás

#### 3.6.1.3 MICRO-HIDROGERADORES

Os micro-hidrogeradores transformam a energia mecânica da água em movimento em energia eléctrica. Com uma adequada fonte de água, os micro-hidrogeradores são uma fonte de energia mais fiável do que os geradores solares ou do que as micro-turbinas eólicas, pois o rendimento deste é menos dependente das condições climáticas [Figura 15].



Figura 15 – Sistema micro-hidrogerador instalado numa nascente situada numa encosta

#### 3.6.2 PRATICAS ACONSELHADAS PARA REDUÇÃO DE ENERGIA NA ILUMINAÇÃO E ELECTRODOMÉSTICOS

Como a iluminação e os electrodomésticos são responsáveis, em média, por 25% do consumo energético dos edifícios, é necessário ter em consideração metodologias melhoradas de desempenho de modo a diminuir os consumos a este nível.

Para que a solução de iluminação dos edifícios seja eficiente, recomenda-se, entre outras, as seguintes práticas:

- **O tipo de iluminação mais eficiente é a iluminação natural.** Os edifícios devem ser concebidos de modo a que todos os compartimentos possuam iluminação natural, que pode ser conseguida através de janelas, clarabóias e tubos solares (Figura 17). O estudo dessas zonas para a entrada de luz natural deve ser realizado em conjunto com o projecto de características de comportamento térmico dos edifícios, pois essas zonas devem permitir a entrada de luz solar (natural) suficiente sem que com isso se comprometa o comportamento térmico dos edifícios.



- **Preferir acabamentos de cor clara nas superfícies interiores e no mobiliário.** Os acabamentos de cor clara reflectem melhor a luz, o que reduz a quantidade de iluminação necessária
- A maior parte dos compartimentos necessita de **dois tipos de iluminação**. A iluminação geral de um espaço fornece a iluminação necessária, por exemplo, à circulação dos seus utilizadores. No entanto, no mesmo espaço podem existir zonas onde seja necessária uma melhor iluminação, nomeadamente sobre uma secretária de trabalho, espaço de leitura, etc.. Deve ser possível o controlo independente destes dois tipos de iluminação.
- Existem no mercado várias lâmpadas com potências eléctricas distintas, devendo-se assegurar que se aplicam lâmpadas com **potência adequada à iluminação necessária (Figura 16)**.
- **O tipo de lâmpada deve ser compatível com a utilização do espaço.** As lâmpadas fluorescentes devem ser aplicadas quando se necessite de iluminação artificial por longos períodos de tempo, como por exemplo, em salas de estar e sobre a banca da cozinha. De modo a que este tipo de lâmpadas possua um tempo de vida mais dilatado, a maior parte delas necessita cerca de um minuto para atingirem o máximo brilho, logo não são adequadas para espaços onde se necessite de luz de imediato. Em compartimentos pouco utilizados ou utilizados por períodos curtos, como por exemplo, instalações sanitárias, despensas, lavandarias, as lâmpadas mais adequadas são as incandescentes.
- Prever a existência de **vários circuitos de iluminação em cada espaço**, comandados por interruptores independentes. A existência de vários circuitos de iluminação independentes permite o controlo da quantidade de lâmpadas acesas num determinado momento. Utilizar um único interruptor para controlar todas as lâmpadas de um compartimento de elevadas dimensões é uma solução de iluminação ineficiente.
- **Utilizar interruptores "inteligentes" em certos compartimentos** e em espaços exteriores. A utilização de interruptores de sensor de movimento é adequada em locais utilizados com pouca frequência e por curtos períodos de tempo, ou onde se preveja que exista grande probabilidade das lâmpadas ficarem acesas por esquecimento. No entanto, é necessário não esquecer que este tipo de interruptores consome continuamente uma certa quantidade de energia, que pode ir até 10W em alguns casos.

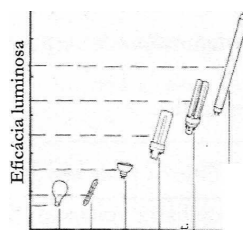


Figura 16 – Comparação da eficácia luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas

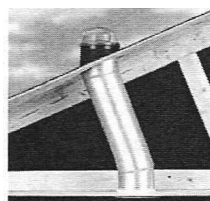
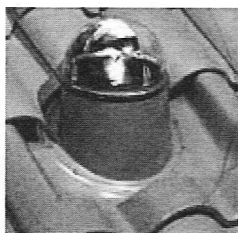


Figura 17 – Tubo solar

A nível dos electrodomésticos, o consumidor deverá ter em atenção a etiquetagem energética dos electrodomésticos de modo a preferir os de baixo consumo [Figura 18].

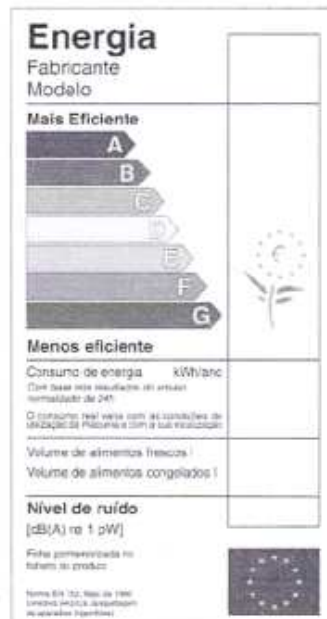


Figura 18 – Etiqueta energética de electrodomésticos

### 3.6.3 APARELHOS SANITÁRIOS E DISPOSITIVOS DE UTILIZAÇÃO MAIS EFICIENTES

As bacias de retrete, chuveiros e torneiras são as áreas chave onde se pode actuar de modo a reduzir o consumo de água.

As bacias de retrete são responsáveis pelos maiores desperdícios de água que têm lugar numa habitação. Se se tiver em conta que a água desperdiçada é de qualidade alimentar, facilmente se compreende que tudo deve ser feito para que se diminuam os consumos por esta via. Existem várias soluções técnicas para a redução do consumo de água nas bacias de retrete, destacando-se:

- A selecção de modelos de autoclismo de baixa capacidade. A implementação de autoclismos de 6 litros em detrimento dos autoclismos de 9 litros de capacidade permite a poupança de 3 litros de água em cada descarga. Se se admitir um número médio de cinco descargas por dia, a opção por um autoclismo de menor volume, traduz-se na poupança de 5.475 litros por autoclismo/ ano;
- A opção por autoclismos de descarga diferenciada (dois botões) ou com comando de interrupção da descarga [Figura 19]. Numa família tipo, constituída por três pessoas, a opção por um autoclismo de descarga dupla de 3/6 litros em detrimento de um autoclismo clássico, traduz-se na poupança anual de 28 mil litros de água;
- A implementação de redutores de descarga. A introdução de objectos (p.e. garrafas cheias de areia) no interior do depósito dos autoclismos é uma solução possível para reduzir o volume de cada descarga;
- A opção por bacias de retrete em sistema seco. Este tipo de bacias de retrete não necessita de água para o tratamento e transporte dos excreta humanos. O tipo mais comum de bacia de retrete em sistema seco é o de compostagem.

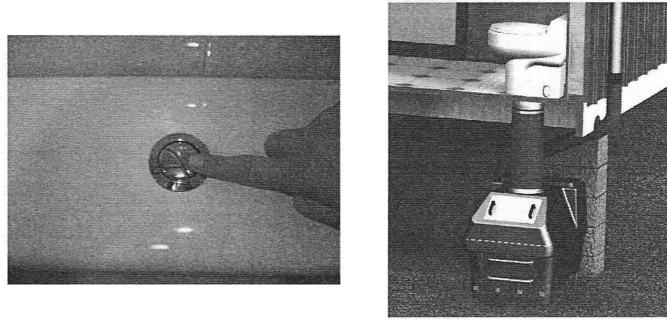


Figura 19 – Autoclismo de descarga diferenciada e bacia de retrete de compostagem

Um chuveiro tradicional possui um caudal médio de 13 litros de água por minuto. Existem no mercado chuveiros mais eficientes, com caudais na ordem dos 7 litros por minuto (**Figura 20**).

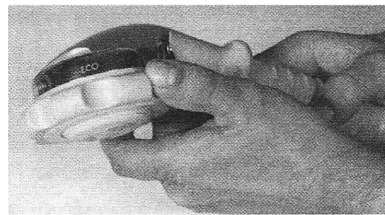


Figura 20 – Chuveiro de baixo caudal

Ao nível das torneiras é possível diminuir o consumo se se optar pelas seguintes soluções:

- Selecção de modelos de menor caudal (4 litros por minuto) em detrimento dos modelos clássicos que consomem em média seis litros por minuto;
- Aplicação de emulsionadores de caudal nas torneiras onde não seja necessário grande volume de água, como nas cozinhas e nos lavatórios [**Figura 21**];
- Opção por torneiras de menor ângulo de abertura, como por exemplo, as torneiras monocomando que permitem o corte do fluxo mais rapidamente e, por conseguinte, com menores desperdícios;
- Aplicação de torneiras automáticas ou semi-automáticas (com infravermelhos ou temporizador) em locais onde se preveja que exista grande probabilidade das torneiras ficarem abertas, como por exemplo nas casas de banho públicas.



Figura 21 – torneira monocomando com filtro arejador

#### 3.6.4 RECOLHA DA ÁGUA DA CHUVA E REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA

O armazenamento da água da chuva que se precipita, por exemplo, numa cobertura durante as estações mais húmidas, é uma solução complementar para a redução dos consumos nas regas durante os períodos secos (**Figura 22**).



Figura 22 – recolha e armazenamento de água das chuvas

#### 3.6.5 TOXIDADE DO MATERIAL

A toxidade de um material expressa os efeitos nocivos que este pode infligir no ser humano e no ecossistema que o rodeia.

De modo a diminuir os riscos para a saúde dos ocupantes, dever-se-á ter em conta na fase de projecto, entre outros, os seguintes aspectos:

- Selecção de tintas de água com base de látex e sem chumbo, em vez de tintas de óleo com diluentes tóxicos como o benzeno, xileno e tolueno;
- Preferir sempre que possível madeiras no seu estado natural aos aglomerados de madeira, onde é utilizada a resina de ureia formaldeído como aglomerante e conservante. Este problema também é comum no mobiliário, pelo que é conveniente a realização de ensaios que comprovem a possível presença deste químico;
- Seleccionar materiais e sistemas que não apresentem clorofluocarbonetos (CFC) e hidroclorofluocarbonetos (HCFC), pois cerca de 50% dos clorofluocarbonetos produzidos são utilizados na construção. Estes componentes apresentam diversos riscos quer à escala local (riscos para a saúde dos ocupantes), quer à escala global através da destruição da camada de ozono;
- Assegurar que no edifício não é utilizado amianto ou qualquer outro material que o contenha;
- Evitar o uso de colas, selantes, pinturas, vernizes e revestimentos que possuam elevadas quantidades de compostos orgânicos voláteis.

#### 3.6.6 MEDIDAS QUE POTENCIAM A REDUÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A quantidade de resíduos de Construção e a sua eventual reutilização ou reciclagem, depende fundamentalmente do tipo de materiais e técnicas de construção utilizados.

Em geral, a redução de resíduos produzidos no estaleiro de obra pode ser melhorada se forem observados os seguintes aspectos:

- **Criar espaços no estaleiro para a separação e armazenamento dos resíduos.** A criação destes espaços facilita a valorização dos resíduos, potenciando a sua utilização na própria obra. No final da obra os resíduos remanescentes serão mais facilmente reutilizados / reciclados se estiverem separados por tipos;
- **Devolver ao fornecedor as embalagens que acompanham os materiais.** As embalagens que acompanham os materiais, produtos e componentes de construção são responsáveis por uma grande parte dos resíduos produzidos na fase da construção. A maior parte das embalagens serve para acondicionar correctamente os produtos, para que estes não sofram danos durante a fase de transporte. Existem no entanto, algumas embalagens que mais não servem do que para ostentar o logótipo da empresa que produz e comercializa o produto. Se os fornecedores fossem obrigados a recolher as embalagens, decerto que os produtores tudo fariam para que estas fossem reutilizadas, de modo a diminuir os custos relacionados com esta operação;
- **Armazenar convenientemente os materiais em estaleiro,** evitando a sua degradação devido à sua exposição aos agentes atmosféricos ou a choques acidentais;
- **Optar pelos contratos de fornecimento do tipo "just-in-time delivery".** Nos contratos deste tipo os fornecedores comprometem-se a fornecer os materiais somente na data em que estes são necessários. Este tipo de contrato, em detrimento da aquisição da quantidade total de material na fase inicial da construção, previne a degradação referida no ponto anterior e permite um melhor controlo da quantidade de material necessária.
- **Acondicionar correctamente os materiais durante as fases de transporte,** evitando danos;
- **Inspecionar o estado dos materiais no acto da sua recepção** e sua posterior devolução ao fornecedor se estes estiverem eventualmente danificados.

### 3.7 O CAMINHO PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável deve ser incutido na dinâmica de construção sustentável, tendo em conta os factores ambientais, económicos e sociais. Para atingir esse fim, é necessário criar um equilíbrio através da eficiência, reduzindo a intensidade em materiais e energia e valorizando a componente ambiental.

A construção sustentável de novas edificações e infra-estruturas e reabilitação sustentável de edifícios existentes podem iniciar uma etapa significativa, no sentido de uma melhoria de desempenho ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus cidadãos.

O plano de acção para caminhar para uma construção mais sustentável reside em: economizar energia e água, assegurar a salubridade e maximizar a durabilidade dos edifícios, planear a conservação e manutenção dos edifícios, utilizar materiais eco-eficientes, apresentar baixa massa de construção, minimizar a produção de resíduos, ser económica e em garantir condições de higiene e segurança dignas nos trabalhos de construção.

Os materiais a usar na construção devem obedecer a certos requisitos para serem mais sustentáveis: representarem menores custos energéticos, sociais, económicos e ambientais; terem origens em fontes renováveis, não poluentes e não tóxicas; serem duráveis e/ou com possibilidade de reutilização/reciclagem ou diminutos desperdícios; não afectarem a saúde.

A perspectiva evolutiva para a construção sustentável, apoia-se num novo paradigma da construção, passando do triângulo do tempo/custo/qualidade, para incluir também o consumo de recursos/emissões e saúde/ e biodiversidade e condicionantes económicas/qualidade ambiental/equidade social e legado cultural.

A durabilidade é um aspecto relevante no caminho da sustentabilidade, de modo a aumentar o ciclo de vida das construções, assegurando-se assim um maior tempo de utilização dos edifícios e reduzindo, consequentemente, a procura de materiais e diminuindo os impactes ambientais.

A utilização de recursos nas diferentes fases do ciclo de vida, deve ter em conta a redução do seu consumo e apostar na eficiência e na utilização preferencial de recursos renováveis, tendo em conta a sua taxa de renovabilidade e em menores emissões de CO<sub>2</sub>.

A construção sustentável deve, também, respeitar os factores sociais e culturais, colaborando deste modo para a melhoria do ambiente e da paisagem da zona onde se inserir.

“Caminhar para este novo paradigma e para uma prática de construção sustentável, é seguramente um desafio fundamental de procura de equilíbrio ambiental e eficiência, devendo agir-se localmente, pensando globalmente, para atingir um efectivo desenvolvimento sustentável em Portugal”. [3]

# 4

## MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

### 4.1 ENQUADRAMENTO

A madeira, devido às suas características e à sua relativa abundância, sempre foi um material de construção utilizado pelo Homem com aplicações que vão desde os acabamentos às grandes estruturas como pavilhões e pontes. A construção à base deste material, representa variadíssimas vantagens sob os mais diferentes pontos de vista, o que fundamenta os cerca de 90 % de construção habitacional em madeira em países desenvolvidos como Noruega, Suécia, Canadá e Austrália.

O principal motivo pelo qual a madeira pode ser considerada o material de construção de eleição é por ser ambientalmente sustentável, ou seja, a madeira é o único material de construção, relativamente os principais (betão, aço, alumínio e madeira), que é reciclável, renovável e biodegradável, para além de ser dos produtos que despende menor energia para a sua transformação. Provém da floresta, tendo esta um papel importantíssimo em diversos aspectos dentro de cada país, e em particular as árvores são um consumidor de dióxido de carbono e libertador de oxigénio, o que significa que ajudam a prevenir o aquecimento do planeta e são imprescindíveis para a manutenção da qualidade do ar.

Estruturalmente a madeira apresenta elevada resistência, principalmente quando comparada com o seu peso, o que quando aplicada nos edifícios ajuda a reduzir o tamanho das fundações e o efeito da acção sísmica. Tem durabilidade, isolamento térmico, acústico e eléctrico excepcional, quando cumpridas as boas condições de manutenção, isto é, mantendo-a arejada e seca. A textura e a cor da madeira, tornam-na também, num material esteticamente agradável e isso aliado à grande liberdade de escolha de formas, permite aos arquitectos uma grande variedade de escolha das soluções a adoptar.

Ao contrário do que se possa pensar, a madeira tem bom desempenho no que respeita à resistência ao fogo, porque apesar desta ser combustível e opostamente ao que se passa com o aço ou o betão, a sua combustão é lenta e as propriedades da zona não ardida permanecem quase inalteradas.

A madeira tem muitas áreas de utilização na construção, logo o seu uso elevado melhora a sustentabilidade.

A análise do ciclo de vida da madeira mostra que esta tem melhor desempenho que os principais materiais de construção (ver capítulo 5), no que se refere à energia incorporada, emissão de gases, libertação de poluentes para o ar e água e produção de resíduos sólidos. A madeira apresenta, por isso, vantagens e propriedades que a tornam num material fundamental para uma racionalização ecológica de qualquer construção residencial ou industrial.

## 4.2 FLORESTA E MADEIRA

### 4.2.1 A IMPORTÂNCIA DAS FLORESTAS

As florestas são áreas com grande densidade de árvores e representam cerca de 30% da área da superfície terrestre. Estas são um elemento essencial à existência de vida na terra pelas suas interações com o ciclo da água e principalmente com o ciclo do carbono, para além de que proporcionam habitat natural para muitas espécies de plantas e animais. Têm, igualmente, um papel marcante nos factores económicos, sociais e espirituais em cada país, na medida em que fornecem, por exemplo, madeira, cortiça, protegem o solo da erosão e das águas, têm a função de estabilização de solos, favorecem a piscicultura, criam postos de trabalho, fornecem materiais para exportação e melhoram a qualidade de vida [10].

A floresta é crucial para o equilíbrio do dióxido de carbono na atmosfera e isso proporciona-se através da fotossíntese. Este processo dá-se nas folhas das plantas, quando estas captam através da clorofila, a energia transmitida pela luz solar e o dióxido de carbono existente no ar. Estes dois componentes aliados à água absorvida pelas raízes resultam na libertação de oxigénio para a atmosfera e na produção de açúcares para o seu desenvolvimento. [11]

As florestas possuem desta forma o interesse ecológico fundamental de serem um mecanismo de fixação do CO<sub>2</sub> e simultaneamente o maior produtor de oxigénio do planeta. As árvores são como “armazéns” de carbono e há que tirar partido dessa benesse - um metro cúbico de madeira contém mais de 200 kg de carbono. São um sistema de regulação inversa, que contrabalança os excessos da actividade humana que utiliza o carbono fóssil (carvão, óleos minerais, etc.) gerando CO<sub>2</sub> atmosférico.

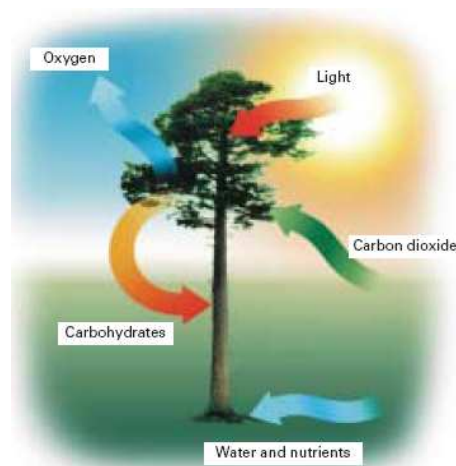


Figura 23 – Floresta e processo de fotossíntese

Contrariamente ao que possa existir na mentalidade de algumas pessoas, a exploração da madeira não é causa de desflorestação. Esta está sim relacionada com a agricultura extensiva, com a ocupação urbana ou simplesmente com a destruição causada pelos incêndios.

Pode-se é dizer que a indústria florestal (quando sustentada) é preconizadora de não-desflorestação, uma vez que esta está na base de uma constante renovação da floresta (após o abate das árvores) o que é ambientalmente mais benéfico, porque as árvores jovens retêm maior quantidade de CO<sub>2</sub> que as árvores mais adultas. A Suécia já segue este caminho desde o início do século XX e o resultado é que desde o começo desta actividade, a quantidade de árvores existentes na Suécia duplicou relativamente há um século atrás e isto deve-se ao facto de depois do abate se terem plantado árvores a duplicar. Em



1997 a floresta sueca armazenou 32 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, o que representa mais de metade das emissões feitas pela Suécia (57 milhões). Neste momento, a indústria florestal neste país, representa um dos sectores económicos mais importantes, ultrapassando mesmo a indústria automóvel.

A forma de manter um sistema deste tipo a funcionar passa indubitavelmente pela certificação das florestas, e consequentemente da madeira nelas produzida, para que se garanta através de auditorias independentes que estas: [12]

- conservem a biodiversidade (espécies de animais e plantas);
- mantenham a qualidade e quantidade do solo e da água;
- regulem o abate de forma a assegurar uma produção a longo termo;
- continuem a melhorar o seu sistema de gestão;
- integrem princípios relacionados com a madeira e com todo o meio envolvente.

#### 4.2.2 A ANATOMIA DA ÁRVORE

Uma árvore é constituída por raiz, caule (ou tronco) e copa. O tronco sustenta a copa com ramificações e conduz, por capilaridade, tanto a seiva bruta, desde a raiz até às folhas da copa, como a seiva elaborada, das folhas para o lenho em crescimento.

Mais pormenorizadamente, o tronco é dividido da seguinte maneira [13]:

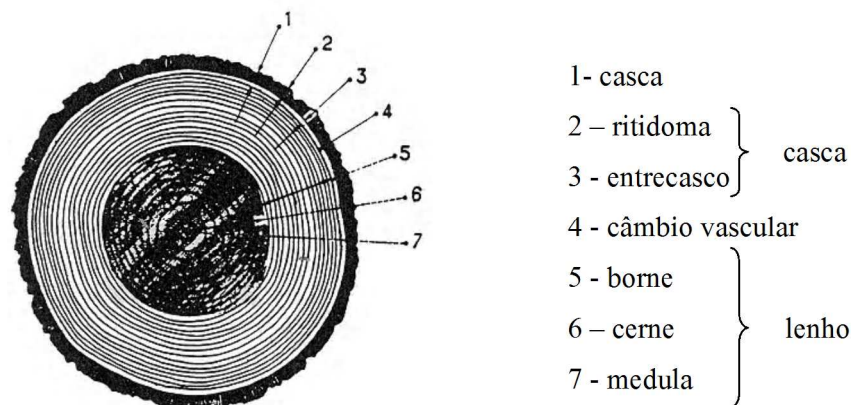


Figura 24 – Corte transversal de um tronco

A secção útil do tronco de madeira que é utilizada para a produção de peças de madeira natural e de madeira para a construção é o lenho, mais concretamente o borne e o cerne.

O borne, que representa a parte externa do lenho e mais jovem, tem cor mais clara que o cerne, é composta por células vivas e activas e tem função resistente e transportadora de seiva bruta. Pelo contrário, o cerne encontra-se no interior do tronco e é constituído por células mortas.

As constantes alterações do borne, relativos ao crescente engrossamento das paredes celulares, vão formando e ampliando o cerne. Este por sua vez, adquire maior resistência mecânica, maior compacidade e sobretudo durabilidade, porque como este é constituído por tecido morto, sem seiva, ou açúcares, não atrai insectos ou outros agentes de deterioração.

Todavia, não é aconselhável o uso exclusivo do cerne e atribuir ao borne a característica de imprópria para a construção. É desaconselhável quer por questões económicas, pois o tamanho do borne varia de 25% a 50% do lenho, quer por questões tecnológicas, porque o borne é a parte que melhor se deixa impregnar por produtos antideteriorantes nos processos de preservação da madeira, além de que apresenta características mecânicas satisfatórias. [13]

Em termos químicos, os principais elementos constituintes da madeira são o carbono, em maiores quantidades (50%), oxigénio (44%) e uma pequena parte de hidrogénio (6%).

#### 4.2.3 O CORTE DA ÁRVORE

O corte da árvore deve ser realizado quando esta atinge a maturidade, que varia entre 50 a 100 anos, porque é quando o cerne atinge a maior parte do diâmetro do tronco e elevada durabilidade natural. A melhor época para abate das árvores é no Inverno, porque é quando a madeira seca melhor e mais lentamente, evitando o aparecimento de fendas, que são vias de acesso para os agentes de deterioração e é quando as árvores têm menor quantidade de amido, seiva elaborada e fosfato, que nutrem esses mesmos agentes.

Posteriormente ao abate, as árvores são removidas do local e é queimada a sua casca com a finalidade de destruir a vida dos insectos subcorticais. E ainda são aplicados por pulverização, insecticidas orgânicos por emulsão óleo-água. Com isto, a madeira deve ser serrada para que sejam evitados os defeitos no processo de secagem.

O tempo de secagem é aproximadamente 1 a 2 anos para madeiras macias e 2 a 3 anos para madeiras duras. Pelo facto da secagem natural ser muito demorada, são usados processos artificiais, fazendo passar as peças empilhadas por zonas de circulação de ar quente com temperatura e humidade controladas. O tempo de secagem varia entre 10 a 30 dias por polegada de espessura da peça. Estes processos de secagem rápida devem ser fiscalizados para que não ocorram fendas na madeira, propícias ao ataque dos agentes biológicos e físico-químicos [14].

#### 4.2.4 MADEIRAS USADAS NA CONSTRUÇÃO

Existem actualmente numerosas aplicações da madeira em estruturas e isto deve-se ao aparecimento de produtos derivados da madeira, que adquiriram uma importância crescente. A obtenção de peças de dimensões importantes passa assim por um desmanchamento do toro em lâminas, partículas ou fibras e a sua posterior colagem, formando novos produtos. Sendo assim, quanto ao tipo de madeiras usadas na construção, podemos distinguir dois grandes grupos, que são as madeiras maciças e as madeiras industrializadas.

##### 4.2.4.1 MADEIRAS MACIÇAS

As madeiras maciças provêm directamente dos troncos das árvores sem proceder a qualquer tipo de colagem. Dentro desta categoria e analisando transversalmente, temos a madeira redonda (em toros a variar de diâmetro entre 0,15m e 0,25m) e a madeira serrada (em vigas, pranchas, tábuas, etc.). Este grupo de madeiras apresenta o principal inconveniente de estar limitada transversalmente e a nível de comprimento.



Figura 25 – Toros e Madeira serrada

#### 4.2.4.2 MADEIRAS INDUSTRIAIS

Estas madeiras são cada vez mais utilizadas, em detrimento das maciças, visto que estas podem ter secções transversais e comprimentos maiores e executar peças com eixos curvos. São muitos os produtos criados e agora utilizados na construção à base de madeira e estes dividem-se em dois grandes grupos, que são os utilizados para fins estruturais e os painéis (ou placas).

Para secções estruturais de madeira temos: a **madeira lamelada colada**, constituída por lâminas de madeira maciça cujas fibras têm direcção paralela e são coladas sob pressão, formando grande vigas de secção rectangular; a **madeira microlamelada colada**, formada por lâminas muito finas extraídas através do desenrolamento das árvores e posteriormente coladas. Este tipo de madeira apresenta maior resistência e estrutura mais homogénea que a madeira lamelada colada; **vigas pré-fabricadas** com secção transversal em I e constituída usualmente por madeira microlamelada colada nos banzos e contraplacado na alma [14].

Como exemplo de produtos de madeira microlamelada colada temos: o **LVL** (laminated veneer lumber) com os nomes comerciais mais correntemente utilizados de “Microllam”, “Intrallam” e “Kerto” e permite criar vigas com 9 a 12cm de espessura, alturas de 2m e comprimentos de cerca de 20m; o **PSL** (parallel strand lumber) de designação comercial “Parallam” e com produção de vigas com secções até 28x48cm<sup>2</sup> e pilares até 18x18cm<sup>2</sup>. [15]

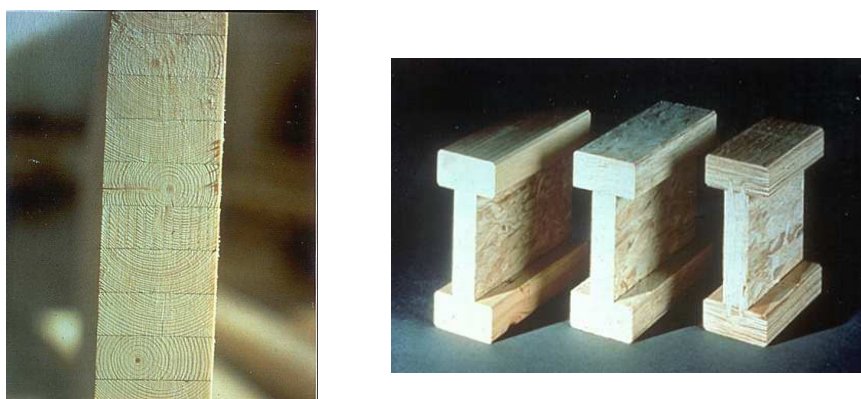


Figura 26 – Madeira lamelada colada e Viga pré-fabricada à base de LVL e OSB



Figura 27- Parallam e LVL

Os painéis apresentam fraca resistência e durabilidade, pelo que devem ser somente utilizados em mobiliário ou revestimentos, por exemplo. Os principais grupos são: os **contraplacados** que são formados por colagem de folhas de madeira natural orientadas em diversas direcções coladas entre si com resinas de diversas qualidades e com espessura de 2 a 4 mm; os **aglomerados de fibras**, constituídos por placas fabricadas com fibras de madeira obtidas por refinação mecânica prensadas com resinas termo-endurecíveis (Platex e MDF); os **aglomerados de partículas**, fabricados com estilha de madeira, pó de madeira e resinas diversas (OSB); os **aglomerados madeira-cimento**, são placas constituídas por partículas de madeira ligadas com cimento Portland. [16]



Figura 28 – Vários tipos de painéis

### 4.3 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais de construção utilizados pelo homem. As primeiras construções realizadas pela espécie humana, recorreram à natureza como fonte de fornecimento de materiais para as construir e desde então a técnica e arte de trabalhar a madeira tem evoluído bastante. [17]

A madeira foi desde sempre um material construtivo de eleição, comprovando a sua enorme resistência e durabilidade, pois não só era escolhida a melhor árvore e o melhor desta, como também o carpinteiro, era mestre e conhecedor do seu ofício e sabia utilizar a madeira convenientemente. Hoje em dia, e fundamentalmente devido à escassez da mão-de-obra especializada, torna-se necessário recorrer a estudos de carácter científico que façam com que o uso deste material na construção se



processe nas melhores condições. Apesar de todos os avanços tecnológicos, o encanto da madeira continua a ter os seus adeptos e existem empresas que oferecem uma vasta gama de modelos fabricados predominantemente à base deste material. [18]

Antes de aplicar a madeira, seja qual for a funcionalidade pretendida, dever-se-á estudar bem como o fazer. A sua heterogeneidade (que depende muito do clima e do tipo de solo), bem como a anisotropia própria da sua constituição fibrosa orientada, originam a necessidade de escolher a melhor orientação das fibras para que tenhamos a melhor resistência da peça. [13]

#### 4.3.1 ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS

A madeira pode ser utilizada sobre diversas formas estruturais na concepção das mais pequenas às maiores e mais pesadas estruturas, com a possibilidade de usar diferentes mecanismos e tipos de madeira e seus derivados.

A utilização de madeira enquanto elemento estrutural fez-se durante séculos. Nas primeiras décadas do século XX, com o aparecimento do betão e do aço, foi temporariamente esquecida. Hoje em dia, assiste-se a um regresso à sua utilização estrutural pelas vantagens em termos de peso, rapidez de montagem, resistência ao fogo, racionalismo ecológico, economia de custos e facilidade de “desconstrução”.

Estas estruturas podem ser realizadas em madeira maciça, lamelada colada (Glulam), LVL (Laminated Veneer Lumber) e Vigas pré-fabricadas (I-Joist).

Estruturalmente, podemos então utilizar este material sobre a forma de coberturas, pavimentos, paredes, escadas e pilares.

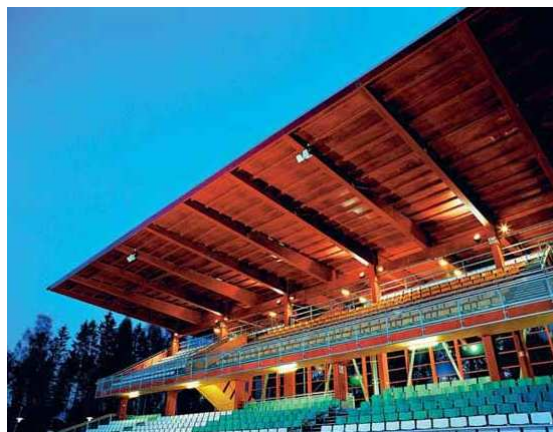


Figura 29 – Sheffield Millenium Winter Garden – Sheffield, UK e Pohjala Stadium – Vantaa, Filândia

#### 4.3.2 CASAS DE TRONCOS DE MADEIRA

Nas casas de troncos de madeira, também designadas de “log houses”, toda a sua constituição é à base de madeira excepto, as instalações, as fundações e certos acabamentos.

As paredes exteriores são constituídas por troncos de madeira maciços e sobrepostos, podendo ser de secção arredondada ou rectangular, as quais têm os seus vértices chanfrados, para favorecer um melhor apoio e permitir alojar o material selante, tal como as paredes interiores que ou são desta natureza ou então de um derivado da madeira. A parte estrutural da cobertura e pavimentos são igualmente constituídos à base de madeira maciça ou de elementos estruturais.

A solução de fundação depende, em grande medida, da existência ou não de uma cave. As construções sem cave podem ser feitas sobre ensoleiramento de betão ou sobre uma laje de betão ou soalho de madeira sobre uma câmara ventilada. Quando existe cave, os muros são de betão armado, como na construção convencional.

A aplicação da primeira fiada de troncos deve estar a uma altura razoável do terreno, pelo menos 15 cm, porque assim fica assegurado que a água do terreno não humedece as faces dos troncos. Devido às chuvadas obliquas, é necessário ter em consideração soluções que favoreçam a escorrência da água e impeçam a acumulação da mesma nas juntas. [18]



Figura 30 – exemplo de uma fachada exterior e interior de uma casa em madeira [19]

#### 4.3.3 ACABAMENTOS DE EDIFÍCIOS

A madeira, a nível de acabamentos, pode ser aplicada em:

- Revestimento de piso
- Revestimento de parede
- Portas interiores e exteriores
- Tectos falsos – revestimentos de tectos
- Rodapés
- Cozinhas
- Caixilharias interiores e exteriores
- Armários
- Portadas

Quanto ao piso, podemos subdividi-lo em “parquet”, “flutuante” e “soalho”. O primeiro é caracterizado por tacos de pequena dimensão, encostados uns aos outros e fixados à estrutura de suporte através de uma cola adequada. No pavimento “flutuante” as peças são de espessura menor que os outros tipos de pavimentos, não se fixam ao suporte, ligam-se entre si através de ligações de encaixe simples macho-fêmea e têm o seu acabamento já executado em fábrica. Relativamente ao “soalho” este é composto por tábuas de madeira maciça de média/grande dimensão, com união entre si através de ligação macho-fêmea e não se apoiam directamente no suporte, mas sim pregadas às ripas e estas é que se apoiam no suporte.

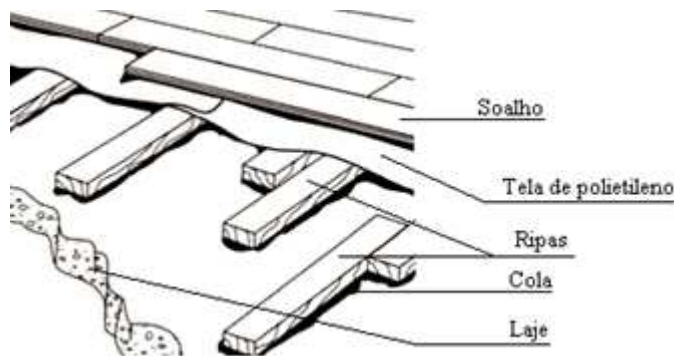


Figura 31 – pormenor construtivo de um pavimento de soalho



Figura 32 – exemplo de pavimento em parquet e flutuante

No que respeita às cozinhas, a base dos elementos é geralmente realizada com MDF hidrofugado ou aglomerado hidrófugo. As soluções em madeira maciça não são aconselháveis devido à maior variação volumétrica e ao custo mais elevado.

Os rodapés usualmente são constituídos por madeira maciça, MDF ou derivados de madeira revestidos a folha de madeira, respectivamente por ordem decrescente de qualidade.

As portas interiores costumam ser pré-fabricadas, ocas, com a seguinte constituição:

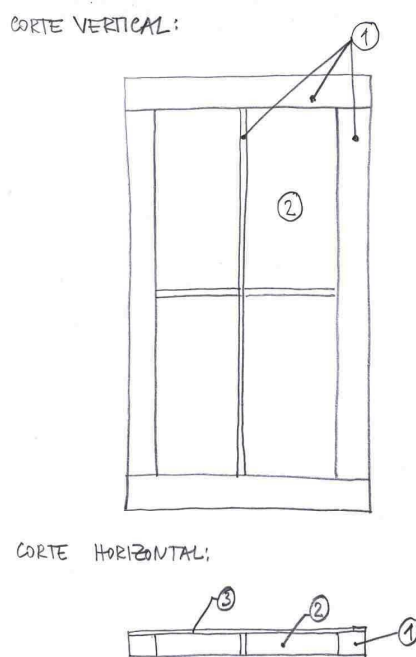


Figura 33 – Corte vertical e horizontal de uma porta

- 1 Engradado em madeira maciça
- 2 Cartão tipo favo
- 3 Acabamento em madeira maciça ou outro material

A nível de portadas e caixilharias exteriores, a madeira para ser bem conservada precisa de manutenção permanente, isto é, deve-se usar verniz/pintura adequada e protecção solar com periodicidade adequada. E estas são compostas na maioria dos casos por madeira maciça.

#### 4.3.4 REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Na recuperação de edifícios antigos em madeira, existem duas técnicas tradicionais distintas, as Taipas (paredes estruturais) e os Tabiques (paredes divisórias). Relativamente às Taipas podemos diferenciar em Taipa de fasquio e taipa de rodízio, apenas se diferenciando a nível dos materiais constituintes:

Tabela 6 – materiais constituintes de diferentes taipas

<b>Taipas</b>	<b>Materiais Constituintes</b>
Taipa de Rodízio	Madeira +Tijolo Burro e Argamassa ou + terra ou + palha ou + restos de construção
Taipa de Fasquio	Essencialmente Madeira

Na Taipa de Rodízio a estrutura é composta por vigas de madeira que funciona como um esqueleto elástico e cujos vazios têm a opção de ser preenchidos por tijolo burro acompanhado com argamassa, restos de construções, palha ou simplesmente terra.





Figura 34 – exemplo de parede de taipa de rodízio

A taipa de fasquio tem a particularidade de ter a estrutura feita com tábuas de madeira, coladas a prumo na vertical, sobre a qual se prega uma segunda camada de tábuas na vertical dispostas diagonalmente e por fim um ripado na horizontal com o fim de travamento.



Figura 35 – exemplo de parede de taipa de fasquio

Um processo construtivo particular das taipas é a denominada “gaiola pombalina”, que foi criada a mando de Marquês de Pombal, após o violento terramoto de 1755 em Lisboa, com a intenção de criar uma estrutura com grande robustez, com boa capacidade para suportar cargas verticais e excelente desempenho face às acções horizontais, ou seja, os sismos e os ventos. Este tipo de paredes consiste numa armação de madeira, embebida no maciço de alvenaria, à face da parede interior.



Figura 36 – modelo de construção em paredes de gaiola

Já os tabiques têm a principal função de compartimentação e podem ser utilizados em edifícios de vários pisos, uma vez que são constituídos por material de baixo peso. A construção destes é feita por uma grelha de madeira formando um entrelaçado com colocação posterior de uma camada fina de terra, palha, argila e fibras vegetais.



Figura 37 – exemplo de parede de tabique

#### 4.3.5 PONTES PEDONAIS

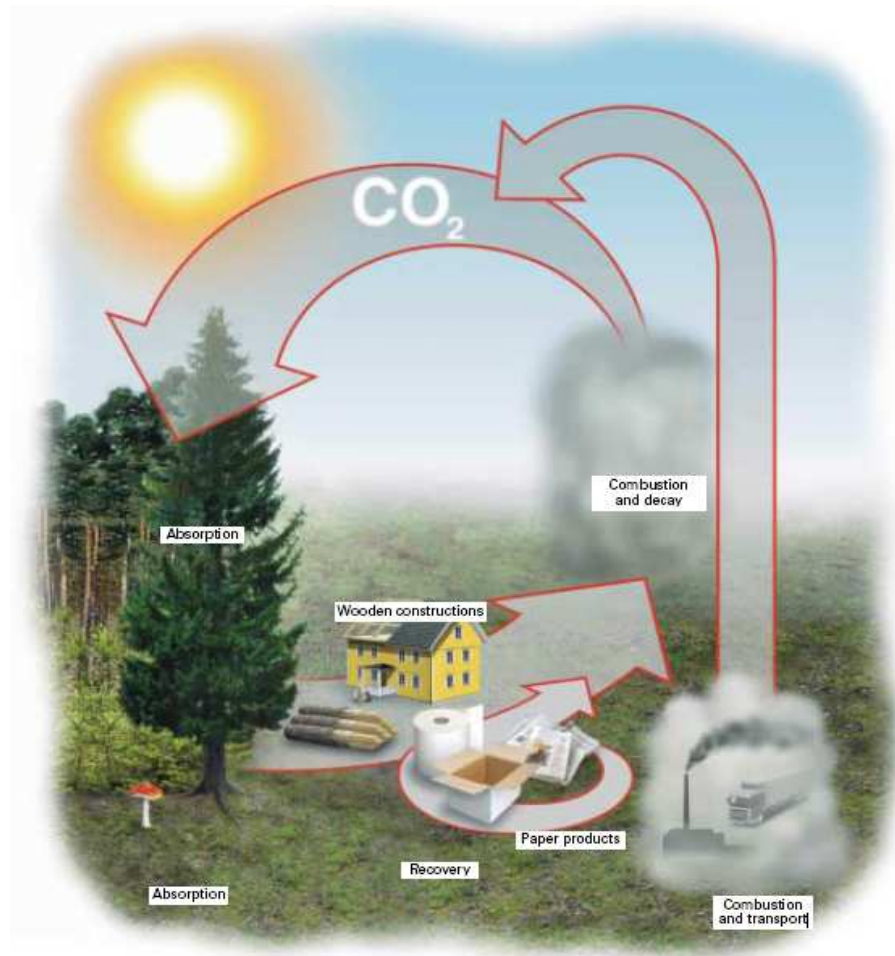
A madeira não só é utilizada em estruturas de edifícios, como também em pontes pedonais e mesmo até em pontes rodoviárias. Estas são obras de arte que não são de rara utilização em países como os da Escandinávia, Canadá ou Austrália. A sua utilização deve-se à qualidade e versatilidade que a madeira possui, associadas ao agradável aspecto estético e às preocupações ambientais existentes. Para a boa preservação e durabilidade destas, é necessário a aplicação de produtos químicos adequados, garantindo sempre uma manutenção regular.



Figura 38 – Ponte Leonardo - Aas, Noruega e Ponte sobre o Reuss – Suíça

### 4.4 MADEIRA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A análise do ciclo de vida da madeira mostra que esta tem melhor desempenho que o aço ou o betão no que se refere à energia incorporada, emissão de gases, libertação de poluentes para o ar, produção de poluentes para a água e produção de resíduos sólidos. A madeira apresenta por isso vantagens e propriedades que a tornam num material fundamental para uma racionalização ecológica de qualquer construção reduzindo o consumo energético, a utilização de recursos, minimizando a poluição e reduzindo o impacto ambiental. [12]

Figura 39 – ciclo de CO<sub>2</sub>

A utilização de madeira, para construção ou para qualquer outro fim, deve ser realizada de forma sustentável, assegurando um reflorestamento global associado, capaz de manter os recursos e a biodiversidade do planeta e dos seus sistemas ecológicos, proporcionando o necessário equilíbrio entre desenvolvimento e manutenção de recursos. As florestas, quando exploradas de forma sustentada são capazes de preservar o dinamismo biológico, no qual o crescimento e a consequente fixação do dióxido de carbono estão assegurados. Pelo contrário, a destruição ou a substituição das florestas existentes procurando outra finalidade do solo provocam uma forte diminuição da biomassa bem como uma forte perda na fixação de dióxido de carbono. As florestas devem integrar um sistema de florestação sustentável, através duma contínua renovação e reflorestação, devendo por isso ser planeadas tendo em consideração o povoamento florestal inicial, a biodiversidade, bem como a qualidade do solo e da água específicos de cada região. É conveniente fazer este processo faseadamente, o que quer dizer, que se deve gerir a floresta de maneira a ter árvores de diferentes idades para tornar o processo de exploração contínuo e economicamente mais equilibrado.

Quando se corta uma árvore, o carbono que esta contém é retido pela sua estrutura celular, permanecendo num estado "dormente" por muitos anos. O carbono só é de novo libertado para a atmosfera quando a madeira arde ou quando se biodegrada, pelo que o fabrico de produtos de madeira faz com que parte do carbono armazenado na madeira seja guardado em elementos de grande durabilidade (móvel, caixilharia, estruturas, papel, etc.). A madeira usada na construção, em particular, é importante porque armazena grandes quantidades de carbono por longos períodos de

tempo. Exemplo disso é o caso de uma típica casa de 200 m<sup>2</sup> feita em madeira, consegue armazenar cerca de 30 toneladas de CO<sub>2</sub>, o que é equivalente a sete anos de emissões de um pequeno carro. As grandes quantidades de carbono retido pelo rápido crescimento das florestas jovens vão sendo progressivamente menores à medida que as árvores vão envelhecendo e o seu ritmo de crescimento diminui. Deste ponto de vista é preferível o abate das florestas antes que elas sejam demasiado maduras. A gestão sustentada das florestas garante que as propriedades de retenção de CO<sub>2</sub> das florestas se mantêm preservadas.

Actualmente a utilização das árvores para a construção tem a particularidade de permitir o seu aproveitamento integral, graças às novas tecnologias de produção. E mesmo os resíduos gerados pela indústria madeireira podem ser utilizados para a produção de produtos derivados, como é o caso das placas de aglomerados.

A generalidade dos produtos de madeira utilizados na construção, sejam estruturais, ou não estruturais (caixilharias, pavimentos, portas, etc.) são pré-fabricados não gerando praticamente resíduos em obra.

Existe ainda a possibilidade de reaproveitamento da madeira de edifícios demolidos, aumentando ainda mais o ciclo de vida da madeira na construção, visto esta ser um material biodegradável e reciclável.

No que se refere à durabilidade, a madeira é extremamente durável, podendo sobreviver durante numerosos anos desde que não esteja frequentemente submetida a grandes variações de humidade. Existem, por exemplo, igrejas na Noruega e templos no Japão que sobreviveram durante mais de mil anos sem necessidade de substituição de qualquer elemento. Em Portugal, existem igualmente inúmeros casos de estruturas de madeira que subsistiram durante dezenas ou até mesmo centenas de anos, como por exemplo, é o caso das estacas da baixa pombalina em Lisboa que sobreviveram até aos nossos dias em boas condições de funcionamento. Para isso seja garantido, é evidente que a durabilidade da madeira depende de um projecto adequado tendo em consideração a durabilidade natural da madeira, as suas possibilidades de preservação e um bom desenho de pormenores construtivos. [12]

#### **4.5 O PORQUÊ DA IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO**

A madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente frente a outros materiais. Dentro dessas, são mais usualmente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas.

Uma casa de madeira oferece uma poupança energética de pelo menos 30% comparativamente à alvenaria, com os mesmos acabamentos. A madeira, por ser um isolante térmico natural, absorve calor ou frio mais lentamente que outros materiais. Por isso ao tocarmos na madeira raramente a sentimos extremamente quente ou fria. O mesmo não acontece quando tocamos em cimento, tijolo, cerâmica ou aço.

O aspecto, no entanto, que distingue a madeira dos outros materiais é a possibilidade de produção sustentada nas florestas plantadas e nas modernas técnicas silvicultoras empregadas nos reflorestamentos, que permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado.

Deve-se incrementar e incentivar o uso da madeira na construção para gerar aumento da indústria florestal sustentável. Isto, além de afectar favoravelmente a economia, pelos postos de trabalho criados

e pela concorrência gerada com os outros materiais, por exemplo, implica também uma maior e mais cuidada gestão da floresta. Ou seja, cria mecanismos faseados de abate das árvores e posterior plantação no lugar das últimas, o que gera armazenamento de CO<sub>2</sub> mais sustentável, uma vez que as árvores captam mais carbono na sua fase de juventude e são abatidas quando atingem a maturidade.



## 5

## ANÁLISE COMPARATIVA DA SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### 5.1 ÂMBITO

Neste capítulo procede-se à análise comparativa da sustentabilidade de materiais e soluções construtivas. Para esse efeito, utilizam-se indicadores de sustentabilidade e recorre-se em parte à Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) desenvolvida pelo Professor Luís Bragança da Universidade do Minho. Definiram-se soluções representativas de pavimentos e paredes para servir de referência, bem como soluções semelhantes à base de madeira. Recorrendo ao método MARS-SC calculam-se as Notas de Sustentabilidade das diversas soluções

### 5.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

#### 5.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Definir indicadores de sustentabilidade perfeitos torna-se numa tarefa complicada, na medida em que existem vários domínios a ter em conta e o conceito de sustentabilidade é algo relativamente abstracto, logo dificilmente transformável em valores numéricos. Portanto, e seguindo a bibliografia seleccionada, definiram-se indicadores adequados nas áreas ambiental, funcional e económica e seleccionaram-se os que se entenderam mais relevantes, diferenciando-os entre materiais e soluções construtivas.

#### 5.2.2 INDICADORES PARA MATERIAIS SIMPLES

##### 5.2.2.1 INDICADORES AMBIENTAIS:

**Potencial de aquecimento global (PAG):** é uma medida avaliadora de contribuições de um dado gás para o aquecimento global, ou seja, é uma medida que compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono, cujo PAG é definido como igual a 1. O Potencial de Aquecimento Global é calculado tendo por base um tempo de vida médio de permanência na atmosfera específico e

este valor deve ser declarado para a comparação. Em termos específicos o PAG é calculado como o rácio do integral da força radioactiva que 1 kg do gás em questão perde instantaneamente com 1 kg do gás de referência (CO<sub>2</sub>):

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x \cdot [x(t)] dt}{\int_0^{TH} a_r \cdot [r(t)] dt} \quad (1)$$

em que, *TH* é o tempo horizonte para o qual o cálculo é efectuado; *a<sub>x</sub>* é a força radioactiva da substância *x*; e *x(t)* é a abundância da substância depois de um lançamento instantâneo dela no espaço *t*=0. E mede-se em gramas equivalentes de CO<sub>2</sub> [20].

Tabela 7 – potencial de aquecimento global de cada material/produto [21]

Material/Produto	PAG (geqCO <sub>2</sub> /kg)
Aço (100% reciclável)	557
Alumínio (50% reciclável)	11102
Betão (estrutural)	65
Bloco cerâmico	190
Argamassa à base de cimento Portland	98
Cobre	5234
Madeira não-tratada	116
Madeira lamelada colada	116
Pedra de granito	8
Poliestireno expandido extrudido	1650
Vidro	569

**Energia primaria incorporada (PEC):** corresponde aos recursos energéticos consumidos durante a fase de produção dos materiais, incluindo a energia directamente relacionada com a extracção das matérias-primas, com o seu transporte para os locais de processamento e com a sua transformação. A PEC corresponde a cerca de 80% da energia incorporada nos materiais, que se define como sendo a energia necessária para a sua produção, transporte, aplicação em obra, manutenção e demolição. É definida em kWh/kg.



Tabela 8 – energia primária incorporada em cada material/produto [21]

Material/Produto	PEC (kWh/kg)
Aço (100% reciclável)	2.78
Alumínio (50% reciclável)	51.11
Betão (estrutural)	0.28
Bloco cerâmico	0.83
Argamassa à base de cimento Portland	0.28
Cobre	19.44
Madeira não-tratada	0.83
Madeira lamelada colada	1.11
Pedra de granito	0.028
Poliestireno expandido extrudido	20
Vidro	2.22

**Potencial de Reciclagem:** quando o material completar o seu ciclo de vida, este possui um certo potencial de reciclagem que é proporcional à capacidade deste poder vir a ser novamente utilizado como recurso. É preferível dar maior atenção, na selecção de materiais, à capacidade de reciclagem do que à energia incorporada, uma vez, que ao utilizar diversas vezes um material, a energia incorporada acaba por ficar amortizada.

**Reservas Remanescentes de Matéria-Prima:** indicador relativo às reservas naturais existentes na actualidade de matérias-primas que compõem certo material de construção

Tabela 9 – Reservas existentes de matéria-prima [21]

Material/Produto	Anos restantes de matéria-prima
Aço (100% reciclável)	Muito grande
Alumínio (50% reciclável)	220
Betão (estrutural)	Muito grande
Bloco cerâmico	Muito grande
Argamassa à base de cimento Portland	Muito grande
Cobre	36
Madeira não-tratada	Muito grande
Madeira lamelada colada	390
Pedra de granito	Muito grande
Poliestireno expandido extrudido	40
Vidro	Muito grande

## 5.2.2.2 INDICADORES FUNCIONAIS

**Condutibilidade térmica:** o Coeficiente de Condutibilidade Térmica é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos e que representa a quantidade de calor (W) por unidade de área (m<sup>2</sup>) que atravessa uma espessura unitária (m) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C). É o valor que caracteriza a maior ou menor facilidade de condução de calor por parte dos materiais e, assim, define a propriedade do isolamento térmico deste, independentemente da sua espessura ou aplicação.

Tabela 10 – valores da condutibilidade térmica em cada material/produto [22]

Material/Produto	$\lambda$ (W/m.°C)
Aço	50
Alumínio	230
Betão (inertes correntes)	2.0
Bloco cerâmico	0.6
Argamassa à base de cimento Portland	1.3
Cobre	380
Madeira maciça (semi-densa)	0.18
Madeira lamelada colada	0.13
Pedra de granito	2.8
Poliestireno expandido extrudido	0.037
Vidro	1.1

**Reacção ao fogo:** este indicador reflecte o comportamento face ao fogo dos materiais de construção, considerado em termos do seu contributo para a origem e desenvolvimento do incêndio, que se avalia pela natureza, importância e significado dos fenómenos observados em ensaios normalizados a que é submetido [23].

Os materiais podem corresponder a cinco classes de reacção ao fogo:

- Classe M0 – materiais não combustíveis
- Classe M1 – materiais não inflamáveis
- Classe M2 – materiais dificilmente inflamáveis
- Classe M3 – materiais moderadamente inflamáveis
- Classe M4 – materiais facilmente inflamáveis

Tendo por base a temática da segurança, foi introduzida na Europa, e em substituição da classificação anterior do LNEC, uma nova classificação de materiais de construção em função da sua reacção ao fogo e passando a ser obrigatória em todos os materiais de construção sujeitos a marcação CE. Esta nova classificação está dividida em produtos de construção de pavimentos, incluindo o seu revestimento, e os restantes produtos, indo a classificação de A a F, ou seja [24]:

- A1 - Materiais que não contribuem para qualquer etapa de incêndio
- A2 - Materiais que não contribuem significativamente para a carga de incêndio nem para o desenvolvimento de incêndio

- B - Materiais com contribuição muito limitada para o incêndio. Tal como a classe C, embora satisfazendo requisitos ainda mais rigorosos
- C - Materiais com contribuição relativamente limitada para o incêndio. Satisfazem os critérios da classe D, embora com requisitos mais rigorosos. Adicionalmente, sob ataque térmico de um elemento isolado em combustão, apresentam uma propagação lateral da chama limitada
- D - Materiais com contribuição relativamente significativa para o incêndio. Satisfazem os critérios da classe E, embora com requisitos mais rigorosos. Capazes de resistir durante um curto período de tempo ao ataque de uma chama de grandes dimensões
- E - Materiais com contribuição significativa para o incêndio. Capazes de resistir durante um curto período de tempo ao ataque de uma chama de pequenas dimensões sem que ocorra uma propagação substancial da mesma
- F - Materiais para os quais o desempenho não é determinado

**Frequência crítica:** é a zona a considerar para as quebras de isolamento acústico e dependem do amortecimento interno de cada material. O valor da frequência crítica é calculado através da seguinte equação:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (2)$$

em que:  $c$  – celeridade(m/s);  $m$  – massa por unidade de superfície (kg/m<sup>2</sup>);  $B$  – módulo de rigidez á flexão (kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

Para melhor percepção do indicador, a tabela 11 apresenta valores da frequência crítica de várias materiais para 1 cm de espessura. E para espessuras diferentes usar a expressão (3):

$$f_c = \frac{f_c(1cm)}{Espessura} \quad (3)$$

Tabela 11 – frequências críticas para 1 cm de espessura para diferentes materiais [25] e [8]

Material/Produto	fc1cm (Hz)
Aço	1000
Alumínio	1300
Betão	1800
Madeira	6000 a 18000
Pedra	1800
Poliestireno expandido	14000
Tijolo furado	2000
Vidro	1200

**Durabilidade:** quanto maior for a durabilidade de um material maior será a sua vida útil e consequentemente menor será o seu impacto ambiental.

Tabela 12 – Durabilidade dos materiais/produtos [21]

Material/Produto	Durabilidade
Aço (100% reciclável)	Alta
Alumínio (50% reciclável)	Alta
Betão (estrutural)	Alta
Bloco cerâmico	Muito alta
Argamassa à base de cimento Portland	Alta
Cobre	Muito alta
Madeira não-tratada	Média/alta
Madeira lamelada colada	Média/alta
Pedra de granito	Muito alta
Poliestireno expandido extrudido	Média
Vidro	Alta

**Massa volúmica:** define-se como a propriedade do material correspondente à massa por volume, ou seja, a proporção existente entre a massa de um corpo, em kg, e seu volume, em m<sup>3</sup>.

Tabela 13 – massa volúmica de diferentes tipos de produtos [22]

Material/Produto	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )
Aço	7800
Alumínio	2700
Betão (inertes correntes)	2400
Bloco cerâmico	1450
Argamassa à base de cimento Portland	2000
Cobre	8900
Madeira maciça (semi-densa)	600
Madeira lamelada colada	500
Pedra de granito	2600
Poliestireno expandido extrudido	30
Vidro (sódico-calcário)	2500

#### 5.2.2.3 INDICADOR ECONÓMICO

**Custo do material:** estão implícitos todos os custos associados às fases de obtenção, transformação e transporte do material. Entende-se como fase de obtenção aquela em que é necessária extrair a matéria-prima para produzir o material em causa. A fase de transformação corresponde à fase em que

se trata e produz o material e a fase de transporte a todas as viagens feitas para transportar o material até à obra.

### 5.2.3 INDICADORES PARA SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

#### 5.2.3.1 INDICADORES AMBIENTAIS

**Potencial de aquecimento global:** A definição do indicador é igual à dada para materiais simples (ver 5.2.2.1). O valor do PAG para uma dada solução construtiva concreta resulta do somatório dos PAG's dos diversos materiais constituintes alterando-se a unidade para g.CO2/m2 ou outra unidade de dimensão mais adequada. Para soluções de paredes calcula-se da seguinte maneira:

$$PAG_{Parede} = \sum_{i=1}^n MassaVolúmica_i \times Espessura_i \times PAG_i \quad (4)$$

**Energia primaria incorporada:** procede-se da mesma maneira que o indicador anterior e é calculado através da expressão (5):

$$PEC_{Parede} = \sum_{i=1}^n MassaVolúmica_i \times Espessura_i \times PEC_i \quad (5)$$

**Conteúdo reciclado:** é a percentagem de materiais da solução construtiva que, depois da sua vida útil, são aproveitados para serem novamente utilizados.

**Quantidade de matéria/recursos naturais utilizados:** quantidade de materiais que se vão extrair da natureza para a construção da solução construtiva.

#### 5.2.3.2 INDICADORES FUNCIONAIS

**Isolamento térmico:** para soluções construtivas este parâmetro é caracterizado através do coeficiente global de transmissão térmica (U). Este coeficiente representa a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente a superfície, por unidade de tempo e por m2 e °C de diferença de temperatura e é calculado através da equação:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \sum_j R_j + \frac{1}{he}} \quad (6)$$

**Isolamento sonoro a sons de condução aérea:** indicador relativo ao isolamento de ruídos de condução aérea, ou seja, em que a transmissão é feita unicamente por vibração do ar. Em geral estes ruídos têm menor capacidade de propagação por todo o edifício que os de percussão. Em termos muito gerais o comportamento de um elemento construtivo a sons de condução aérea depende fundamentalmente da sua massa e/ou existência de duplicação física do material separador [25]. No caso das paredes utilizar-se-ão dois programas de cálculo automático.

Para as paredes duplas usar-se-á o método Meisser e para as paredes simples o método Davy, nos quais é necessário introduzir os valores da massa volúmica de cada paramento e respectiva espessura, velocidade de propagação das ondas longitudinais no material, distância interna entre paramentos (em paredes duplas) e factor de perdas internas (em paredes simples). [27]

**Isolamento sonoro a sons de percussão:** os ruídos provenientes da percussão em pavimentos, são considerados dos que merecem maior preocupação e são produzidos através de passos, queda de objectos, batimentos de portas e janelas, funcionamento de máquinas, vibração de canalizações, arrastamento de móveis, entre outros. Ou seja, os sons de percussão são sons provenientes de fontes que produzem vibrações em estruturas sólidas e propagam-se quase sem amortecimento. Estes sons não são estudados para os elementos verticais, porque a probabilidade destes serem solicitados por choques é muito reduzida [25].

O cálculo deste indicador torna-se particularmente difícil e subjectivo, uma vez, que neste trabalho apenas queremos estudar os elementos estruturais em separado, ou seja, não temos a indicação dos valores dos elementos marginais, que são peça-chave para o cálculo deste indicador. Por essa razão utilizam-se valores fornecidos pela bibliografia.

**Flexibilidade de utilização:** possível aplicabilidade que se pode dar às soluções construtivas quando são necessárias fazer obras de modificação estrutural.

#### 5.2.3.3 INDICADORES ECONÓMICOS

**Custo de construção:** é o valor necessário para realizar a solução construtiva em causa, incluindo o valor dos materiais, o seu transporte e mão-de-obra. É representado por m2.

**Custo de manutenção:** são os custos necessários para as obras ou operações de manutenção desde o fim da construção até ao final de vida do elemento construtivo.

**Custo de reabilitação:** custo necessário para proceder a obras de reabilitação sem que haja a demolição do edifício. São realizadas estas obras quando o edifício em questão se encontra total ou parcialmente degradado ou a precisar de obras mais significativas para a sua segura e confortável utilização.

**Custo de demolição:** quando a reabilitação não é possível ou desejada, procede-se à demolição, isto é, ao desmantelamento da estrutura. Este custo é tanto menor quanto menor for o peso e o volume da estrutura a desmantelar e o tipo de ligação entre os diversos materiais e componentes de construção

**Valor venal:** corresponde ao valor económico do material no final do seu ciclo de vida, e é tanto maior quanto maior for o seu potencial de reutilização e de reciclagem.

**Custo de eliminação:** é relativo aos custos associados ao transporte de materiais provenientes do desmantelamento até aos locais de depósito e custos associados ao tratamento dos materiais de modo a provocarem o menor impacto possível no meio ambiente e na saúde dos habitantes.

### 5.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) propõe fazer uma análise comparativa entre soluções construtivas através de uma solução base de referência com a implementação de vários indicadores pertencentes a três grupos distintos: Ambiental, Funcional e Económico.

Este método, inclui as seguintes etapas [26]:

- Definir os indicadores a adoptar para cada grupo, tendo em conta o nível de profundidade que se quer na análise, as próprias características dos materiais e soluções construtivas, as particularidades do

próprio local, as exigências funcionais que se pretendam satisfeitas e dados disponíveis. Os indicadores a adoptar em cada grupo podem ser, por exemplo, os que constam da tabela 14.

Tabela 14 – Possíveis indicadores a utilizar na avaliação da sustentabilidade

INDICADORES		
Funcionais	Ambientais	Económicos
Isolamento sonoro a sons de condução aérea ( $D_{n,w}$ )	Potencial de Aquecimento Global (PAG)	Custo de construção (CC)
Isolamento sonoro a sons de percussão ( $L'_{n,w}$ )	Energia Primária Incorporada (PEC)	Custo de manutenção
Isolamento Térmico (U)	Conteúdo Reciclado	Custo de reabilitação
Durabilidade	Potencial de Reciclagem	Custo de desmantelamento/demolição
Comportamento ao fogo	Reservas Remanescentes de Matéria-Prima	Valor venal
Flexibilidade de utilização	Quantidade de matéria/recursos naturais utilizados	Custo de tratamento para devolução ao ambiente natural

- Determinar os índices de comparação entre a solução de referência e a solução em estudo. Esta comparação é feita ao nível de cada indicador e expressa a relação numérica existente entre os indicadores da solução em estudo e os que se referem à solução de referência. Os índices são calculados através da seguinte equação:

$$I_x = \frac{V_x}{V'_x} \quad (7)$$

Com:  $I_x$  - índice relativo ao indicador  $x$ ;  $V_x$  – valor do indicador  $x$  na solução em estudo;  $V'_x$  – valor do indicador  $x$  na solução de referência

Esta expressão é usada para quanto maior for o valor do indicador, pior é a solução. Quando se trata do contrário, ou seja, quanto maior o valor, mais favorável, inverte-se a ordem do numerador com o denominador, ficando a solução de referência em numerador.

- Determinar a nota a atribuir a cada indicador estando esta compreendida entre -3 e 3. Quando a nota é negativa o indicador da solução em estudo é pior que o da referência. A nota é atribuída através da tabela 15:

Tabela 15 – Nota a atribuir a cada indicador ( $N_i$ ) em função dos valores dos índices ( $I_x$ )

Valor de $I_x$	Nota ( $N_i$ )
$\leq 0,6$	3
$]0,6 ; 0,8]$	2
$]0,8 ; 1,0[$	1
1,0	0
$]1,0 ; 1,2]$	-1
$]1,2 ; 1,4]$	-2
$\geq 1,4$	-3

- Determinar a Nota de Desempenho de cada solução ao nível de cada grupo de indicadores, reduzindo para um só valor o desempenho da solução dentro de cada grupo de indicadores. O peso a atribuir a cada um dos indicadores não é fixo. No entanto, existem estudos que permitem bastante consenso na atribuição dos pesos aos indicadores ambientais, ao contrário dos indicadores funcionais e por isso mesmo, neste grupo atribui-se o mesmo peso a todos os indicadores. Quanto aos indicadores económicos dá-se maior relevância aos custos de manutenção e operação do edifício do que, por exemplo, ao custo inicial, porque o primeiro corresponde à maior parte do ciclo de vida das soluções construtivas. O desempenho da solução é determinado através das seguintes equações:

$$ND_A = \sum_{i=1}^m WA_i \times NIA_i \quad (8)$$

$$ND_F = \sum_{i=1}^n WF_i \times NIF_i \quad (9)$$

$$ND_E = \sum_{i=1}^o WE_i \times NIE_i \quad (10)$$

Com:  $ND_A$  – nota de desempenho ambiental;  $ND_F$  – nota de desempenho funcional;  $ND_E$  – nota de desempenho económico;  $WA_i$  – peso do indicador ambiental (i);  $WF_i$  – peso do indicador funcional (i);  $WE_i$  – peso do indicador económico (i);  $m$  – número de indicadores ambientais em estudo;  $n$  – número de indicadores funcionais em estudo;  $o$  – número de indicadores económicos em estudo;  $NIA_i$  – nota atribuída ao indicador ambiental (i);  $NIF_i$  – nota atribuída ao indicador funcional (i);  $NIE_i$  – nota atribuída ao indicador económico (i)

- Determinar a Nota Sustentável da solução em estudo. E também neste caso não é concreto a forma como cada um destes grupos influencia a sustentabilidade, mas correntemente atribui-se a seguinte distribuição de pesos:  $W1 = 0,40$  ;  $W2 = 0,40$  ;  $W3 = 0,20$ . A equação que permite sintetizar num só valor a performance da solução, é a seguinte:

$$NS = W1.ND_A + W2.ND_F + W3.ND_E \quad (11)$$

Com:  $NS$  – nota sustentável da solução;  $W1$  – peso do grupo de indicadores ambientais;  $W2$  – peso do grupo de indicadores funcionais;  $W3$  – peso do grupo de indicadores económicos

Com  $NS$ , atribui-se qualitativamente a sustentabilidade da solução em estudo, através da tabela 16:

Tabela 16 – Classificação do desempenho da solução em estudo a partir de  $NS$

Valor da $NS$	Classificação de desempenho
$<-1$	Medíocre
$[-1 ; 0[$	Insatisfatório
0	De referencia
$]0 ; 1[$	Ligeiramente superior
$[1 ; 2[$	Superior
$[2 ; 3[$	Muito superior
3	Excelente



## 5.4 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

### 5.4.1 PAREDES EXTERIORES

A nível de paredes, e como o objectivo deste trabalho é analisar a sustentabilidade da madeira como material para a construção, compararam-se três soluções, sendo uma delas a convencionalmente utilizada nos nossos dias em Portugal e as restantes em madeira.

A nível de indicadores, utilizaram-se dois ambientais, três funcionais e um económico. Relativamente ao desempenho ambiental, definiu-se que a solução deve contribuir o menos possível para o aquecimento global (PAG) e incorporar a menor quantidade possível de energia (PEC). Ao nível do desempenho funcional, analisou-se o comportamento das paredes ao nível do isolamento a sons de condução aérea ( $D_{n,w}$ ), do isolamento térmico ( $U$ ) e da espessura desta. Finalmente, no que diz respeito ao desempenho económico, procurou-se a solução com mais baixo custo inicial (CC).

#### 5.4.1.1 Descrição das paredes exteriores estudadas

**Parede de referência:** pano exterior em alvenaria de tijolo vazado de 15 cm e um pano interior em alvenaria de tijolo vazado de 11 cm, separados por caixa-de-ar com 4 cm de espessura e isolante térmico colado ao paramento interior – poliestireno expandido extrudido – com 3 cm de espessura e reboco com espessura de 2 cm em cada face dos paramentos interior e exterior - ver figura 40. [8]

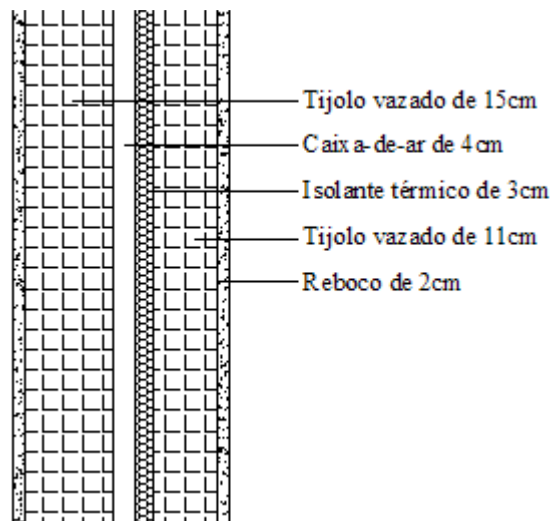


Figura 40 – Parede de referência

**Parede em madeira 1:** pano exterior em madeira maciça de 20 cm, caixa-de-ar de 4 cm e painéis de 5cm de lã de rocha fixados ao paramento interior constituído por placas de espessura de 1,25 cm de gesso cartonado – ver figura 41.

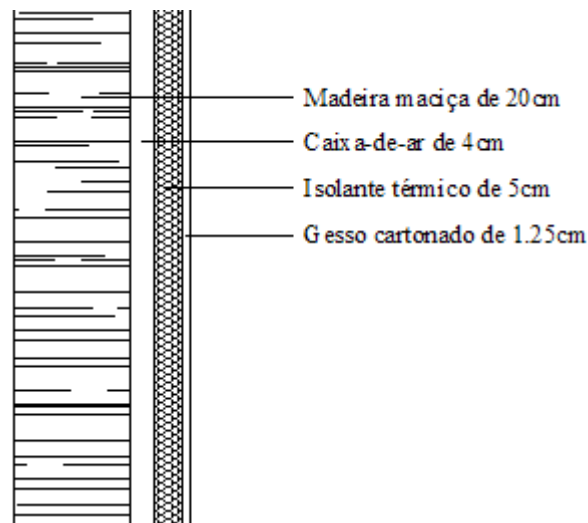


Figura 41 – Parede em Madeira 1

**Parede em madeira 2:** parede simples de 16 cm de espessura – ver figura 42.

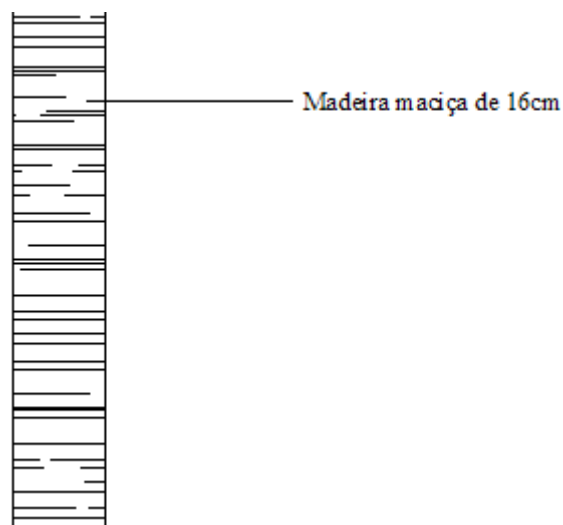


Figura 42 – Parede em Madeira 2

#### 5.4.1.2 Cálculos para as soluções construtivas em madeira

Uma vez que a bibliografia recolhida não fornece dados relativamente a paredes exteriores em madeira, foram calculados os indicadores através dos valores de cada material e tendo em conta a espessura e massa volúmica dos mesmos, ou seja:

- Cálculo de PAG:

$$PAG_{Par.Mad.1} = m_{madeira1} \times e_{madeira1} \times PAG_{madeira1} + m_{isolamento} \times e_{isolamento} \times PAG_{isolamento} + m_{gessocartonado} \times e_{gessocartonado} \times PAG_{gessocartonado} \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow PAG_{Par.Mad.1} = 600 \times 0,20 \times 116 + 30 \times 0,05 \times 1650 + 500 \times 0,013 \times 116 = 17149 \text{ geqCO}_2 / \text{m}^2$$

$$PAG_{Par.Mad.2} = m_{madeira2} \times e_{madeira2} \times PAG_{madeira2} \quad (13)$$

$$\Leftrightarrow PAG_{Par.Mad.2} = 600 \times 0,16 \times 116 = 11136 \text{geqCO}_2 / \text{m}^2$$

- Cálculo de PEC:

$$PEC_{Par.Mad.1} = m_{madeira1} \times e_{madeira1} \times PEC_{madeira1} + m_{isolamento} \times e_{isolamento} \times PEC_{isolamento} + m_{gessocartonado} \times e_{gessocartonado} \times PEC_{gessocartonado} \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow PEC_{Par.Mad.1} = 600 \times 0,20 \times 0,83 + 30 \times 0,05 \times 20 + 500 \times 0,013 \times 1,11 = 136,82 \text{kWh} / \text{m}^2$$

$$PEC_{Par.Mad.2} = m_{madeira2} \times e_{madeira2} \times PEC_{madeira2} \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow PEC_{Par.Mad.2} = 600 \times 0,16 \times 0,83 = 79,68 \text{kWh} / \text{m}^2$$

- Cálculo de U:

$$U_{Parede} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j R_j + R_{ar} + \frac{1}{h_e}} \quad (16)$$

$$U_{Par.Mad.1} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{lãderocha}}{\text{condutibilidade térmica lãderocha}} + \frac{e_{madeira}}{\text{condutibilidade térmica madeira}} + \frac{e_{gessocartonado}}{\text{condutibilidade térmica gesso cartonado}} + R_{ar} + \frac{1}{h_e}} \quad (17)$$

$$\Leftrightarrow U_{Par.Mad.1} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,20}{0,23} + \frac{0,013}{0,25} + 0,18 + 0,04} = 0,40 \text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{C}$$

$$U_{Par.Mad.2} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{madeira}}{\text{condutibilidade térmica madeira}} + \frac{1}{h_e}} \quad (18)$$

$$\Leftrightarrow U_{Par.Mad.2} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,16}{0,23} + 0,04} = 1,17 \text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{C}$$

- Cálculo de  $D_{n,w}$ :

Para paredes duplas usou-se o cálculo automático tendo por base o método de Meisser e para as paredes simples o método de Davy, conforme se detalha no anexo. Como não é do âmbito do trabalho estar a estudar compartimentos, não é possível ter conhecimento do valor dos elementos marginais, logo adoptou-se por subtrair 3 dB ao  $R_w$  dado pelos programas de cálculo. [27]

$$D_{n,w} = R_w - 3 \quad (19)$$

$$D_{n,w(\text{paredes duplas})} = 57 - 3 = 54 \text{dB} \quad (20)$$

$$D_{n,w(\text{paredes simples})} = 35 - 3 = 32 \text{dB} \quad (21)$$

- Cálculo do custo de construção:

Para a análise económica adoptaram-se valores arbitrados com base em informação de mercado.

$$CC_{\text{Par.Mad.1}} = e_{\text{madeira1}} \times CC_{\text{madeira1}} + CC_{\text{isolamento}} + CC_{\text{gessocartonado}} \quad (22)$$

$$\Leftrightarrow CC_{\text{Par.Mad.1}} = 0,20 \times 350 + 20 + 15 = 105 \text{€} / \text{m}^2$$

$$CC_{\text{Par.Mad.2}} = e_{\text{madeira2}} \times CC_{\text{madeira2}} \quad (23)$$

$$\Leftrightarrow CC_{\text{Par.Mad.2}} = 0,16 \times 350 = 56 \text{€} / \text{m}^2$$

#### 5.4.1.3 Resumo dos indicadores obtidos

No indicadores relativo ao isolamento a sons de condução aérea os valores são tanto mais favoráveis, quanto maiores estes forem ao contrário dos restantes. Apenas os resultados referentes à parede exterior de referência foram tirados da bibliografia.

Tabela 17 – Resultados obtidos na quantificação dos indicadores a nível de paredes exteriores

Grupo	Indicador	Parede exterior de referência [4]	Parede exterior em madeira 1	Parede exterior em madeira 2
<i>Ambiental</i>	- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	48,78	17,15	11,14
	- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	289,79	136,82	79,68
<i>Funcional</i>	- Espessura da parede: EP (m)	0,37	0,30	0,16
	- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	48	54	32
	- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	0,58	0,40	1,17
<i>Económico</i>	- custo de construção: CC (€/m2)	46,68	105	56

#### 5.4.1.4 Peso dos indicadores e parâmetros na avaliação da sustentabilidade

A análise ponderada da importância que os diferentes indicadores têm para o resultado equilibrado e sustentável da solução em questão, resultou na atribuição dos pesos aos parâmetros e indicadores indicados na Tabela 18. Note-se que o factor ambiental tem maior peso que o económico e que o indicador relativo à funcionalidade é o mais cotado, não só pelo conforto habitacional, mas também porque o parâmetro U tem em parte uma componente ambiental no que diz respeito aos gastos de energia para arrefecimento ou aquecimento durante a sua vida útil.

Tabela 18 – Pesos considerados na avaliação

Indicador	Parâmetro	Peso do parâmetro	Peso do indicador
<i>Ambiente</i>	<i>PEC</i>	0,75	0,30
	<i>PAG</i>	0,25	
<i>Funcionalidade</i>	<i>Dn,w</i>	0,33	0,50
	<i>EP</i>	0,33	
	<i>U</i>	0,33	
<i>Economia</i>	<i>CC</i>	1,00	0,20

#### 5.4.1.5 Nota de sustentabilidade das paredes exteriores

As folhas de cálculo em anexo demonstram os passos intermédios para a concretização dos resultados apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Resultados obtidos na quantificação da Nota de Sustentabilidade

Solução construtiva		Par. Mad.1	Par. Mad.2
<i>Desempenho</i>	<i>Ambiental</i>	3	3
	<i>Funcional</i>	1,32	-0,99
	<i>Economico</i>	-3	-1
<i>Nota sustentabilidade</i>		0,96	0,205
<i>Classificação de desempenho</i>		<b>Ligeiramente superior</b>	<b>Ligeiramente superior</b>

#### 5.4.2 PAVIMENTOS

Tal como nas paredes, vão-se avaliar seis indicadores de sustentabilidade, com a diferença de que neste caso ao nível do desempenho funcional, pretendeu-se que a solução resultasse no melhor compromisso entre o isolamento a sons de percussão ( $L'_{n,w}$ ), isolamento a sons de condução aérea ( $D_{n,w}$ ) e isolamento térmico ( $U$ ). [8]

##### 5.4.2.1 Descrição dos pavimentos estudados

**Pavimento de referência:** pavimento aligeirado de vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos de cofragem (24cm), com caixa-de-ar (12,5cm), e tecto falso com manta de lã de rocha (2,5cm) e painéis de gesso cartonado (1,25cm) – ver figura 43

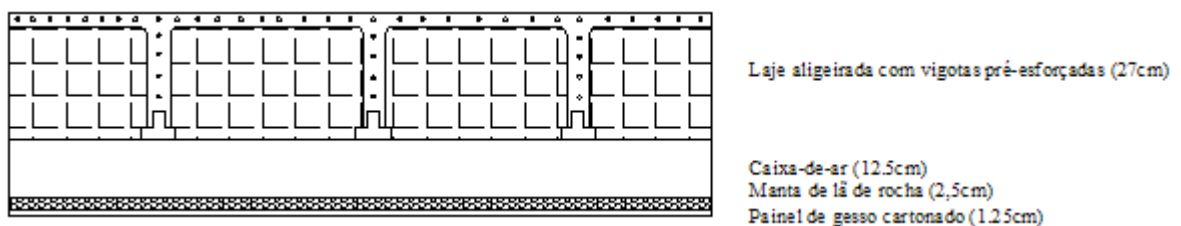


Figura 43 – Pavimento de referência

**Pavimento em madeira 1:** pavimento estrutural de vigas de madeira sem isolante térmico, composto por piso de madeira (1,80 cm) e tecto revestido com painéis de gesso cartonado (1,25cm) – ver figura 44.

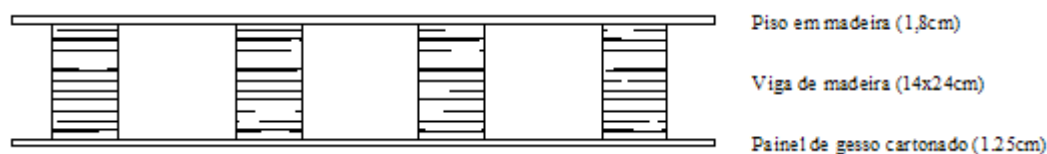


Figura 44 – Pavimento em madeira 1

**Pavimento em madeira 2:** pavimento estrutural de vigas de madeira, com soalho em madeira (1,80cm), tecto falso composto por dois níveis de painéis de gesso cartonado (2x1,25cm) e manta de lã de rocha (8cm) aplicada no tecto falso – ver figura 45.

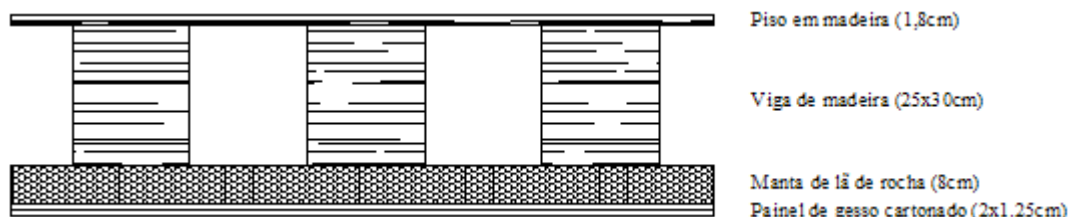


Figura 45 – Pavimento em Madeira 2

**Pavimento em madeira 3:** pavimento de estrutura descontínua em madeira, com revestimento de piso flutuante sobre revestimento estrutural em madeira (1,80cm), tecto revestido com painéis de gesso cartonado (1,25cm) e manta de lã de rocha (8cm) aplicada no tecto falso – ver figura 46.

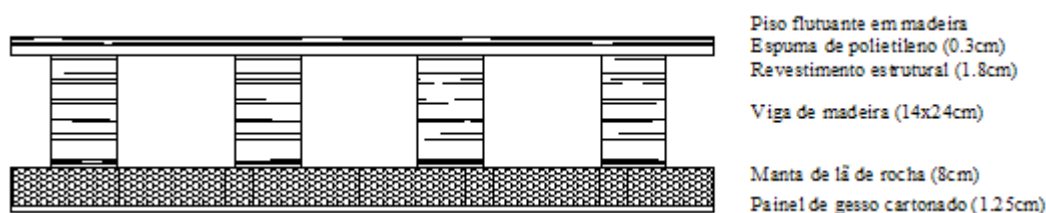


Figura 46 – Pavimento em Madeira 3

#### 5.4.2.2 Resumo dos indicadores obtidos

Tendo em conta o que foi descrito em 5.2. e através da bibliografia seleccionada, chegou-se aos resultados referidos na tabela 13 dos indicadores de sustentabilidade para as soluções construtivas de pavimentos. Note-se que em todos os valores, quanto mais alto estes são, piores os valores, à excepção do isolamento a sons de condução aérea.

Tabela 20 – Resultados obtidos na quantificação dos indicadores a nível de pavimentos [8]

Grupo	Indicador	Pavimento de referencia	Pavimento em madeira 1	Pavimento em madeira 2	Pavimento em madeira 3
<i>Ambiental</i>	- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	70,68	5,31	21,21	15,33
	- energia primária incorporada: PEC (kWh/m <sup>2</sup> )	217,36	32,33	101,25	92,33
<i>Funcional</i>	- isolamento a sons de percussão: L'n,w (dB)	74	83	56	58
	- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	56	38	63	54
	- isolamento térmico: Umed (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,79	1,90	0,39	0,37
<i>Económico</i>	- custo de construção: CC (€/m <sup>2</sup> )	54,45	140,00	172,40	172,45

#### 5.4.2.3 Peso dos indicadores e parâmetros na avaliação da sustentabilidade

Os pesos considerados na avaliação dos pavimentos são atribuídos de forma análoga aos referidos nas paredes, ou seja, o que é mais cotado é o indicador referente à funcionalidade, porque cada vez se dá mais importância à componente térmica e a condutibilidade térmica reflecte decisivamente nesse factor, tal como a componente acústica. O Custo da Construção é muito importante, mas na situação em que vivemos e seguindo as orientações desta dissertação, é necessário dar mais importância aos factores ambientais.

Tabela 21 – Pesos considerados na avaliação

Indicador	Parâmetro	Peso do parâmetro	Peso do indicador
<i>Ambiente</i>	PEC	0,75	0,30
	PAG	0,25	
<i>Funcionalidade</i>	Dn,w	0,33	0,50
	L'n,w	0,33	
	U	0,33	
<i>Economia</i>	CC	1,00	0,20

#### 5.4.2.4 Nota de sustentabilidade dos pavimentos

Através das folhas de cálculo em anexo chega-se aos valores mencionados na Tabela 22, na qual se identificam as notas intermédias relativas a cada um dos três parâmetros, a nota final e a classificação de desempenho através da comparação com a solução de referência. Relembrando que a nota máxima a atribuir é 3, a mínima é -3 e 0 corresponde ao mesmo desempenho da solução de referência.

Tabela 22 – Resultados obtidos na quantificação da Nota de Sustentabilidade

Solução construtiva		Pav.Mad.1	Pav.Mad.2	Pav.Mad.3
<i>Desempenho</i>	<i>Ambiental</i>	3	3	3
	<i>Funcional</i>	-2,31	1,98	1,32
	<i>Económico</i>	-3	-3	-3
<i>Nota sustentabilidade</i>		-0,855	1,29	0,96
<i>Classificação de desempenho</i>		<b>insatisfatório</b>	<b>superior</b>	<b>Ligeiramente superior</b>

#### 5.4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Tendo em conta os indicadores utilizados e o peso atribuído a cada um deles, verifica-se através dos resultados acima indicados que é possível criar soluções em madeira mais sustentáveis que as soluções convencionais. A nível ambiental todas as paredes e pavimentos em madeira testados são bastante mais favoráveis que as soluções de referência, apresentando a nota máxima. No que diz respeito ao indicador económico passa-se exactamente o oposto, isto é, as soluções em madeira apresentam-se significativamente mais dispendiosas que as de referência, mas como o peso de avaliação atribuído ao indicador ambiental é maior que o económico, a solução recai mais para o lado ambiental.

A nível de pavimentos a solução de pavimentos mais sustentável é a de estrutura descontínua em madeira com tecto falso e isolamento (Pavimento de Madeira 2), porque apresenta sobretudo um excelente desempenho funcional. Comparativamente com o Pavimento em madeira 3 esta solução (Pav. Mad. 2) apresenta-se mais favorável praticamente apenas no que toca ao isolamento a sons aéreos. Fora isso esta última solução até seria mais indicada, uma vez que para além de ter valores de PAG, PEC e U mais benéficos (apesar de ser reduzida a diferença), a espessura do pavimento é significativamente mais pequena, fazendo ganhar em altura, os compartimentos. A solução de pavimento de estrutura descontínua em madeira sem isolante (Pavimento de Madeira 1) é a solução menos recomendada, porque apesar de ter um excelente comportamento ambiental, perde principalmente pelo baixo desempenho funcional, na qual não obtém nenhum valor qualitativamente superior a qualquer outra solução.

Nas paredes, todas as soluções em madeira são mais adequadas que a solução de alvenaria em tijolo duplo. A melhor solução é a que é composta por madeira maciça de 0,20m com gesso cartonado e isolamento térmico e acústico no interior deste, porque apesar de apresentar custos mais elevados, têm um comportamento funcional muito bom e um ambiental excelente, tal como se refere atrás. A solução de parede simples peca por não ter comportamento acústico e térmico favoráveis. Tendo a vantagem, relativamente à primeira solução de madeira, de ser substancialmente mais económica



# 6

## CONCLUSÃO

A madeira na construção tem um amplo campo de aplicação, tanto em estruturas como em acabamentos.

Actualmente a madeira é utilizada numa grande diversidade de estruturas que vão desde as componentes estruturais de habitações, às coberturas de médio e grande vão, estruturas de edifícios públicos ou privados para diversos fins, tais como armazéns industriais, ringues de patinagem, piscinas, pavilhões de desportos, passagens pedonais e pontes de todo o tipo.

A nível dos acabamentos, a madeira pode também ser utilizada em edifícios numa grande lista de elementos construtivos tais como revestimentos de piso e parede, portas exteriores e interiores, portadas, caixilharias, armários, rodapés e cozinhas.

As casas de madeira constituem soluções construtivas que incorporam o quase total recurso à madeira como material básico de construção usado no edifício tanto ao nível da estrutura como dos acabamentos e compartimentação interiores.

A madeira alia um agradável aspecto visual com um bom desempenho estrutural, podendo afirmar-se claramente que a tecnologia disponível tem, em cada momento, condicionado fortemente as soluções possíveis. Assim, aquilo que nos parece hoje completamente impossível de realizar em madeira, pode num futuro próximo ser perfeitamente possível. O constante aparecimento de novos materiais derivados da madeira como os lamelados colados, o LVL, as vigas compostas, os estratificados de fabrico industrial (tipo Prodema) e mais recentemente blocos e tubos (ainda em fase de desenvolvimento experimental) fazem prever um bom futuro para os materiais à base de madeira, em termos de Mercado.

Mas, será a madeira um material verdadeiramente sustentável? E qual é o seu papel na criação de uma construção mais sustentável? Essas e outras questões encontram de alguma forma resposta neste trabalho.

Concluiu-se que as soluções de pavimentos e paredes em madeira caracterizadas no capítulo 5, têm um excelente desempenho ao nível ambiental, tendo em conta os parâmetros adoptados e que se consideraram como sendo suficientemente representativos. Nos campos da térmica e da acústica, as soluções em madeira afirmam-se também como uma boa opção. As soluções construtivas em madeira apenas são bastante penalizadas em termos económicos, mas esse parece ser um problema específico de Portugal. Admite-se que, em países mais desenvolvidos nesta área, como é o caso da Suécia ou Canadá, onde também existe matéria prima em abundância, a construção em madeira continua a ser bastante mais económica que a construção tradicional em betão armado e alvenaria correntemente edificada em Portugal.

O estudo efectuado refere-se a construções novas. No entanto, admite-se que, no que se refere a processos de reabilitação de construções antigas com estruturas à base de alvenaria de pedra ou bloco cerâmico e pavimentos, paredes, escadas e coberturas em madeira, esta ainda apresenta melhor desempenho ao nível da sustentabilidade das soluções, visto que possui um grande potencial de reutilização, o que significa que se pode manter a estrutura antiga em madeira e apenas reforçar onde for necessário, passando a ser menos importantes tanto a componente económica, como a ambiental, uma vez que há menos consumo de recursos e menos desperdício de materiais originais. Actualmente é possível e até relativamente simples encontrar soluções de melhoria do desempenho funcional das construções antigas à base de madeira sem remover as soluções originais. Para isso, é colocado o desafio aos técnicos, a quem compete essa função de encontrar soluções ao nível das paredes, tectos falsos, pavimentos técnicos e revestimentos e acabamentos que permitam resolver todas as questões sensíveis ao nível das modernas exigências relacionadas com a térmica, a acústica e a incorporação de novas instalações técnicas residindo sempre a maior dificuldade na resolução dos problemas de Segurança contra Incêndio.

A boa e adequada resistência e durabilidade da madeira são comprovadas através de exemplos bem conhecidos como são o caso das estacas na baixa pombalina em Lisboa e no *Empire State Building* em Nova Iorque e em igrejas na Noruega e templos no Japão que sobreviveram durante mais de mil anos sem necessidade de substituição dos elementos mais importantes.

Recorrendo a indicadores de sustentabilidade, conclui-se no entanto que, feito um balanço global de diversas soluções alternativas de paredes e de pavimentos, não parece óbvia a vantagem de utilizar madeira com vista ao desenvolvimento de uma construção mais sustentável. O exercício de cálculo efectuado é obviamente bastante limitado mas permite, sem dúvida, concluir que é discutível e até um pouco demagógico classificar as diversas soluções construtivas em termos de sustentabilidade. As conclusões obtidas dependerão sempre dos critérios utilizados, dos pesos atribuídos, da subjectividade das notas mas também das características intrínsecas de cada solução que resultam de um exercício de concepção que varia de caso para caso, consoante os locais, clientes, projectistas e tantas outras variáveis.

Pode assim concluir-se que a madeira não tem um papel decisivo para a Construção Sustentável. Fundamental é mesmo actuar ao nível dos Resíduos de Construção e Demolição, incluindo a madeira, mas também o aço, o alumínio e sobretudo os betões armados ou não, as argamassas e as pedras. É urgente aumentar as taxas de reaproveitamento dos materiais provenientes das demolições, reconstruções e reabilitações profundas.

A madeira tem no entanto um papel fundamental na questão mais alargada do Desenvolvimento Sustentável e este facto prende-se com a questão da floresta.

Como é obvio, para haver madeira é preciso existirem florestas e estas têm um contributo fundamental para a vida na terra, principalmente pela sua fundamental contribuição para o ciclo do carbono, visto que as árvores são grandes armazenadores de carbono, dado que consomem dióxido de carbono e libertam oxigénio no processo da fotossíntese. Para além disso, têm grande influência na qualidade de vida das populações rurais e urbanas e alguma importância socioeconómica, por exemplo, devido à indústria florestal. São também fundamentais em tantos outros domínios que foram sendo analisados neste trabalho tais como o controlo da erosão dos solos, a regulação climática, o contributo decisivo para um mais eficiente ciclo da água e a biodiversidade ao nível tanto da fauna como da flora.

É assim importante continuar a usar madeira na construção e encontrar outros novos e rentáveis usos para o material celulósico proveniente das florestas, pois dessa forma ajuda-se a encontrar melhores rentabilidades para os produtores florestais e logo uma motivação adicional para melhor gerir as

florestas. Uma boa gestão florestal, materializada por cortes regulares e selectivos e uma frequente renovação de efectivos florestais, não só é conveniente para permitir uma silvicultura mais económica e rentável, mas também para evitar fogos florestais e para ter florestas mais saudáveis do ponto de vista biológico.

Quanto à questão energética, pode justificar-se no futuro voltar a usar a madeira como combustível, através da criação, por exemplo, da produção industrializada de “achas” de madeira a partir de resíduos florestais e de madeira de pior qualidade, porque só cerca de 5 a 10% das espécies têm valor comercial e qualidade suficientes para serem usadas em estruturas e acabamentos em edifícios ou outras obras de engenharia civil. Pode-se também vir a justificar a utilização de madeira na produção de biomassa para biocombustíveis. Esses representam apenas mais dois usos possíveis para o material celulósico produzido nas florestas.

Em conclusão, pode-se afirmar que a madeira tem um contributo importante mas não decisivo para uma construção mais sustentável, embora tenha um papel fundamental ao nível do Desenvolvimento sustentável, por ter origem na árvore e esta provir das florestas. Estas são imprescindíveis para a sobrevivência do Planeta, em sentido mais lato, e para a melhoria da qualidade de vida das populações, em sentido mais estrito. Funcionam como “fábrica” da matéria-prima madeira que pode, nesse contexto, ser considerada como um material natural, renovável e com elevado índice de reaproveitamento.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Martins, Mafalda., Paredes, Sofia. *Eixo Atlântico 21*. 2006,  
<http://www.eixo21.com/descargas/guia%20port.pdf>. Novembro/2007.
- [2] [http://ec.europa.eu/sustainable/history/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/sustainable/history/index_en.htm). Dezembro/2007.
- [3] Pinheiro, Duarte. *Ambiente e Construção sustentável*. Instituto do Ambiente, Amadora, 2006.
- [4] [http://imagazine.sapo.pt/por/artigose.html?pag=as\\_cidades\\_do\\_futuro.html](http://imagazine.sapo.pt/por/artigose.html?pag=as_cidades_do_futuro.html). Junho/2008.
- [5] [www.londrix.com/noticias.php?id=43540](http://www.londrix.com/noticias.php?id=43540). Maio 2008.
- [6] [www.http://blog.ecoinformacao.com/2008/01//28/a-primeira-cidade-sustentavel/](http://blog.ecoinformacao.com/2008/01//28/a-primeira-cidade-sustentavel/). Maio 2008.
- [7] <http://www.quercus-construcaosustentavel.com/>. Novembro/2007.
- [8] Bragança, Luís., Mateus, Ricardo. *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Edições Ecopsy, Porto, 2006
- [9] Jalali, Said, Torgal, Pacheco *Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção*. Engenharia e vida, Janeiro/2008, páginas 56-59, E. R. Arantes e Oliveira, Lisboa
- [10] Barroso Lopes, Duarte. *Construções em madeira e a sua contribuição para a construção sustentável*. ISEP, 2006.
- [11] <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=111&iCanal=1&iSubCanal=3190&iLingua=1>. Março/2008.
- [12] Barreto Cachim, Paulo. *Construções em madeira – a madeira como material de construção*. Publindústria. Porto, 2007.
- [13] Barbosa, Inês., Peixoto, Maria. *Paredes tradicionais de madeira*. Trabalho realizado para a cadeira de “Tecnologia de Sistemas Construtivos”, FEUP, 2005/2006 .
- [14] Oliveira Rodrigues, Romana. *Construções antigas de madeira: experiência de obra e reforço estrutural*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2004.
- [15] Ferreira de Sousa, Carlos. *Elementos de apoio às aulas teórico-práticas da cadeira “Construções em Madeira”*. FEUP, Ano lectivo 2006/2007.
- [16] Sarmiento, Ana Maria. *Estruturas de Madeira*. FEUP, 2004.
- [17] Amorim Faria, José. *Madeira na construção – o futuro promete*. Conferência proferida em “Semana das Engenharias” na Escola de Tecnologia e Gestão do IPB, Bragança, 16 de Novembro de 2006.
- [18] Graça, João. *Log houses*. Trabalho realizado para a cadeira de “Tecnologia de Construções em Madeira”, FEUP, 2006/2007.
- [19] <http://www.loghomes.org/gallery.phtml?catid=5>. Abril/2008.
- [20] [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential). Janeiro/2008.
- [21] Berge, Bjorn. *The ecology of building materials*. Architectural Press, Oxford, 2000.

- [22] Santos, Carlos., Matias, Luís. *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC, Lisboa, 2006.
- [23] Regulamento de segurança contra incêndios, Porto editora, Porto, 2004.
- [24] [http://www.apcmc.pt/newsletter/Newsletter\\_n94/tafibra.HTM](http://www.apcmc.pt/newsletter/Newsletter_n94/tafibra.HTM). Junho/2008.
- [25] Carvalho, António. *Acústica ambiental e de edifícios*. FEUP edições, Porto, 2006.
- [26] Bragança, Luís., Mateus, Ricardo. *Avaliação comparativa da sustentabilidade de soluções construtivas para paredes exteriores*. Engenharia civil, 2006, Universidade do Minho.
- [27] Dirk, João. *Programa de cálculo para isolamento a sons aéreos*. Trabalho realizado para a cadeira de projecto, FEUP, 2006/2007

# **ANEXO 1**

## **CÁLCULO DE $R_w$ PARA PAREDES DUPLAS**

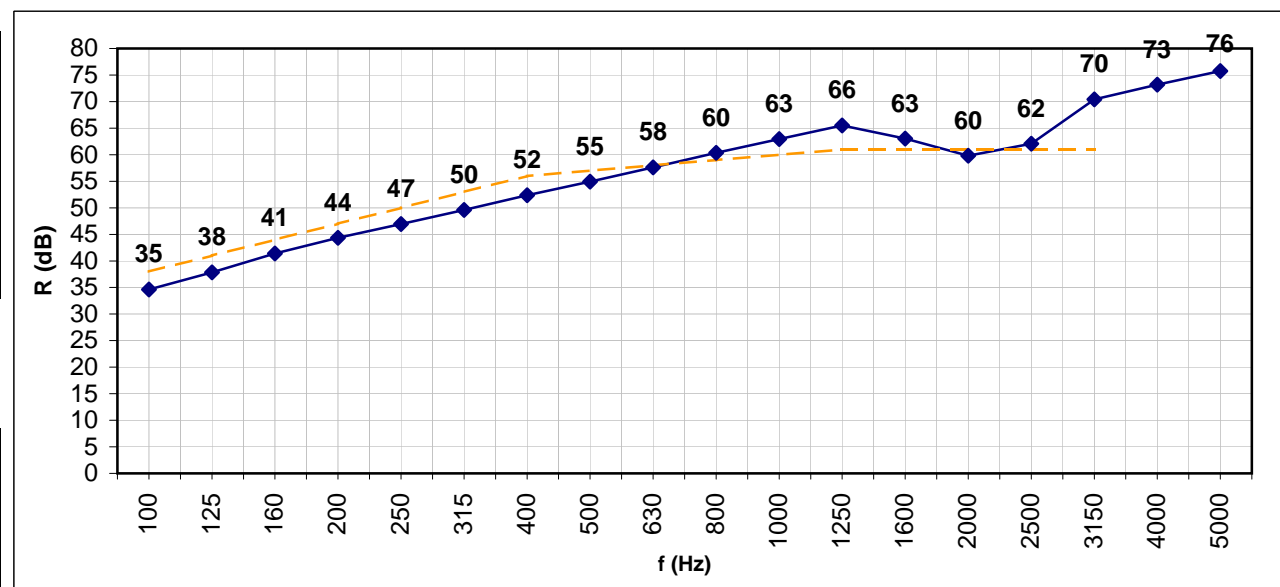




## Paredes Duplas (método de Meisser)

$m_1$ (kg/m <sup>2</sup> )	160
$e_1$ (m)	0,27
$c_{L1}$ (m/s)	3100
$m_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	9,625
$e_2$ (m)	0,0125
$c_{L2}$ (m/s)	2500
$d_{cx \text{ de ar}}$ (m)	0,15

$k$	9
$f_0$ (Hz)	72
$f_{c1}$ (Hz)	77
$f_{c2}$ (Hz)	2067
$f_{n=1}$ (Hz)	1137



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R (dB)	34,6	37,8	41,4	44,4	46,9	49,6	52,4	54,9	57,6	60,4	62,9	65,5	63,0	59,8	62,1	70,4	73,2	75,8
Σdif.	25						Rw (dB)						57					



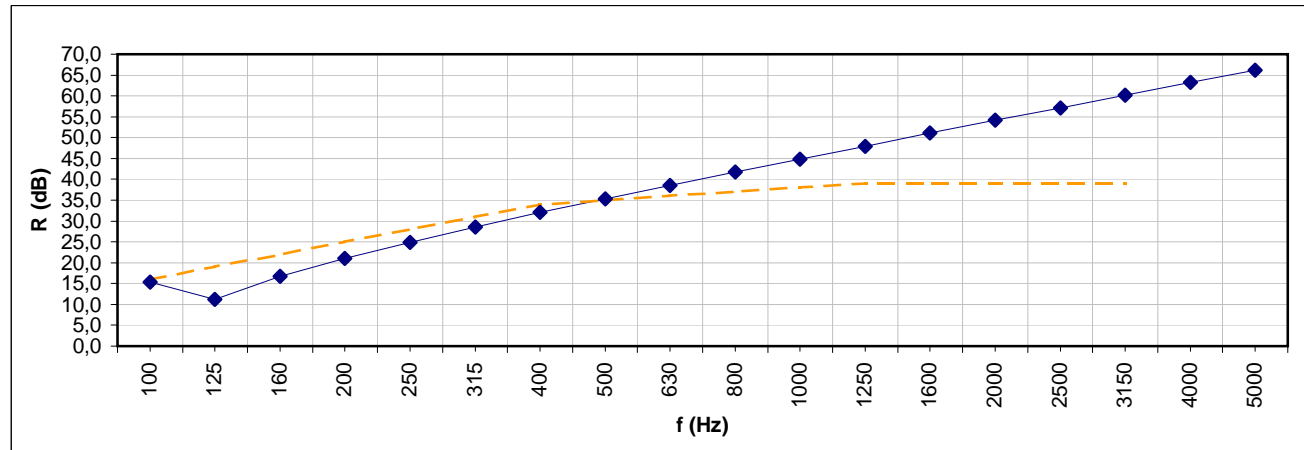
# **ANEXO 2**

## **CÁLCULO DE $R_w$ PARA PAREDES SIMPLES**



### Paredes Simples (método de Davy)

<b>m (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	96
<b>e (m)</b>	0,16
<b>c<sub>L</sub> (m/s)</b>	3800
<b>η<sub>int</sub></b>	0,01
<b>H (m)</b>	3,33
<b>V (m)</b>	3,33



f <sub>c</sub> (Hz)	106,3																	
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R (dB)	15,3	11,3	16,7	21,1	24,9	28,5	32,0	35,3	38,5	41,8	44,8	47,8	51,1	54,1	57,1	60,1	63,3	66,2
R <sub>w</sub> (dB)	35																	
Σ dif.	25																	



# **ANEXO 3**

## **CÁLCULO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DAS PAREDES**





Grupo	Indicador	Parede de referencia	Parede em madeira 1	Parede em madeira 2	Peso do parâmetro	Peso do indicador
Ambiental	- <i>potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)</i>	48,78	17,15	11,14	0,25	0,30
	- <i>energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)</i>	289,79	136,82	79,68	0,75	
Funcional	- <i>Espessura da parede: EP (m)</i>	0,37	0,3	0,16	0,33	0,50
	- <i>isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)</i>	48	54	32	0,33	
	- <i>isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)</i>	0,58	0,4	1,17	0,33	
Económico	- <i>custo de construção: CC (€/m2)</i>	46,68	105	56	1,00	0,20

Valor de Ix	Nota (Ni)
<= 0,6	3
]0,6 ; 0,8]	2
]0,8 ; 1,0[	1
1	0
]1,0 ; 1,2]	-1
]1,2 ; 1,4]	-2
>= 1,4	-3

Valor da NS	Classificação de desempenho
<-1	Medíocre
[-1 ; 0[	Insatisfatório
0	De referencia
]0 ; 1[	Ligeiramente superior
[1 ; 2[	Superior
[2 ; 3[	Muito superior
3	Excelente

	Parede em madeira 1						
Indicador	$I_x$	Nota Ni	Peso do indicador (Wi)	Nota de desempenho (Ndi)	Peso do grupo indicadores (Wn)	Nota sustentável da solução (NS)	classificação do desempenho
- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	0,351578516	3	0,75	3	0,3	0,96	<u>ligeiramente superior</u>
- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	0,472134994	3	0,25				
- Espessura da parede: EP (m)	0,810810811	1	0,33	1,32	0,5		
- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	0,888888889	1	0,33				
- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	0,689655172	2	0,33				
- custo de construção: CC (€/m2)	2,249357326	-3	1,00	-3	0,2		

	Parede em madeira 2						
Indicador	$I_x$	Nota Ni	Peso do indicador (Wi)	Nota de desempenho (Ndi)	Peso do grupo indicadores (Wn)	Nota sustentável da solução (NS)	classificação do desempenho
- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	0,228372284	3	0,75	3	0,3	0,205	<u>ligeiramente superior</u>
- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	0,274957728	3	0,25				
- Espessura da parede: EP (m)	0,432432432	3	0,33	-0,99	0,5		
- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	1,5	-3	0,33				
- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	2,017241379	-3	0,33				
- custo de construção: CC (€/m2)	1,199657241	-1	1,00	-1	0,2		

# **ANEXO 4**

## **CÁLCULO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DOS PAVIMENTOS**



Grupo	Indicador	Pavimento de referencia	Pavimento em madeira 1	Pavimento em madeira 2	Pavimento em madeira 3	Peso do parâmetro	Peso do indicador
Ambiental	- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	70,68	5,31	21,21	15,33	0,25	0,30
	- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	217,36	32,33	101,25	92,33	0,75	
Funcional	- isolamento a sons de percussão: L'n,w (dB)	74	83	56	58	0,33	0,50
	- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	56	38	63	54	0,33	
	- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	0,79	1,90	0,39	0,37	0,33	
Económico	- custo de construção: CC (€/m2)	54,45	140,00	172,40	172,45	1,00	0,20

Valor de Ix	Nota (Ni)
<= 0,6	3
]0,6 ; 0,8]	2
]0,8 ; 1,0[	1
1	0
]1,0 ; 1,2]	-1
]1,2 ; 1,4]	-2
>= 1,4	-3

Valor da NS	Classificação de desempenho
<-1	Medíocre
[-1 ; 0[	Insatisfatório
0	De referencia
]0 ; 1[	Ligeiramente superior
]1 ; 2[	Superior
]2 ; 3[	Muito superior
3	Excelente

	Pavimento em madeira 1						
Indicador	$I_x$	Nota Ni	Peso do indicador (Wi)	Nota de desempenho (Ndi)	Peso do grupo indicadores (Wn)	Nota sustentável da solução (NS)	classificação do desempenho
- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	0,075127334	3	0,75	3	0,3	-0,855	<u>insatisfatório</u>
- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	0,148739418	3	0,25				
- isolamento a sons de percussão: L'n,w (dB)	1,121621622	-1	0,33	-2,31	0,5		
- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	1,473684211	-3	0,33				
- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	2,405063291	-3	0,33				
- custo de construção: CC (€/m2)	2,571166208	-3	1,00	-3	0,2		

	Pavimento em madeira 2						
Indicador	$I_x$	Nota Ni	Peso do indicador (Wi)	Nota de desempenho (Ndi)	Peso do grupo indicadores (Wn)	Nota sustentável da solução (NS)	classificação do desempenho
- potencial de aquecimento global: PAG (kgeqCO2/m2)	0,30008489	3	0,75	3	0,3	1,29	<u>superior</u>
- energia primária incorporada: PEC (kWh/m2)	0,465817078	3	0,25				
- isolamento a sons de percussão: L'n,w (dB)	0,756756757	2	0,33	1,98	0,5		
- isolamento a sons de condução aérea: Dn,w (dB)	0,888888889	1	0,33				
- isolamento térmico: Umed (W/m2.°C)	0,493670886	3	0,33				
- custo de construção: CC (€/m2)	3,16620753	-3	1,00	-3	0,2		

	Pavimento em madeira 3						
Indicador	$I_x$	Nota $N_i$	Peso do indicador ( $W_i$ )	Nota de desempenho ( $N_{di}$ )	Peso do grupo indicadores ( $W_n$ )	Nota sustentável da solução ( $N_S$ )	classificação do desempenho
- potencial de aquecimento global: $PAG$ ( $kgeqCO_2/m^2$ )	0,216893039	3	0,75	3	0,3	0,96	<u>ligeiramente superior</u>
- energia primária incorporada: $PEC$ ( $kWh/m^2$ )	0,424779168	3	0,25				
- isolamento a sons de percussão: $L'_{n,w}$ (dB)	0,783783784	2	0,33	1,32	0,5		
- isolamento a sons de condução aérea: $D_{n,w}$ (dB)	1,037037037	-1	0,33				
- isolamento térmico: $U_{med}$ ( $W/m^2.°C$ )	0,46835443	3	0,33				
- custo de construção: $CC$ ( $€/m^2$ )	3,167125803	-3	1,00	-3	0,2		